Isaac Asimov

LAS AMENAZAS DE NUESTRO MUNDO



PLAZA & JANES, S. A.
Editores

Título original: A CH0ICE OF CATASTROPHES

Traducción de MONTSERRAT SOLANAS

Portada de GRACIA

Primera edición: Noviembre, 1980

Este libro se ha publicado originalmente en inglés con el título de A CHOICE OF CATASTROPHES

(ISBN- O 671 22701-7. Simon and Schuster. New York. Ed. original.)
Printed in Spain — Impreso en España ISBN: 8401-33178-3 — Depósito Legal: B. 32546-1980

GRÁFICAS GUADA, S. A. - Virgen de Guadalupe, 33 - Esplugues de Llobregat (Barcelona)

ÍNDICE

(**IMPORTANTE**: Para leer las Notas del texto en el menú **Ver** debes seleccionar **Comentarios** y situar el cursor encima de la nota correspondiente.)

Dedicado a Robyn y a Bill, haciendo votos para que el rostro de la Fortuna les sonría eternamente

INTRODUCCIÓN

La palabra «catástrofe» procede del griego *Katastrophé* y significa «poner lo de arriba abajo». Se utilizó originariamente para describir el desenlace, o el final culminante, de una presentación dramática, y, naturalmente, podía ser de naturaleza feliz o triste.

En una comedia, el clímax es el final feliz. Tras una serie de enredos y tristezas, todo el argumento se invierte cuando los amantes súbitamente se reconcilian y se unen. La catástrofe de una comedia es, por tanto, un beso o una boda. En una tragedia, el clímax tiene un final triste. Después de esfuerzos interminables, se produce el desastre cuando el héroe descubre que las circunstancias y el destino le han derrotado. Por consiguiente, la catástrofe de la tragedia es la muerte del héroe.

Como las tragedias suelen emocionar más profundamente que las comedias, y también suelen ser más memorables, la palabra «catástrofe» ha terminado relacionándose mucho más con los finales trágicos que con los felices. En consecuencia, en la actualidad se utiliza para describir cualquier final de naturaleza desastrosa o calamitosa. Este libro trata precisamente de ese tipo de catástrofe.

¿El final de qué? De nosotros, naturalmente, de la especie humana. Si consideramos la historia de la Humanidad como un drama trágico, la muerte final de la Humanidad constituiría una catástrofe en dos sentidos: en el sentido original y por sí mismo. Pero, ¿qué es lo que podría provocar el final de la historia humana?

Por un lado, todo el Universo podría cambiar sus características y convertirse en inhabitable. Si el Universo se convirtiese en mortal, y si no pudiera existir absolutamente la vida dentro de él, la Humanidad tampoco podría existir, y eso sería algo que podríamos denominar «catástrofe de primera clase».

Naturalmente, no es necesario que todo el Universo quede implicado en algo que bastara para provocar el fin de la Humanidad. El Universo podría seguir siendo tan benigno como lo es ahora y, no obstante, algo podría suceder al Sol que hiciera inhabitable el Sistema Solar. En este caso, la vida humana podría llegar a su final, aunque todo el resto del Universo prosiguiera su camino tranquila y suavemente. Eso sería una «catástrofe de segunda clase».

Y hay más. Aunque el Sol siguiera brillando con la misma intensidad y benignidad acostumbradas, la propia Tierra podría pasar por el tipo de convulsión que hiciera la vida imposible en ella. En este caso, la vida humana podría encontrar su fin, a pesar de que el Sistema Solar continuara con sus vueltas rutinarias de rotaciones y revoluciones. Esto sería una «catástrofe de tercera clase»,

Y aunque la Tierra continuara estando tibia y agradable, algo podría ocurrir en ella que destruyera la vida humana, aunque, por lo menos, no perjudicara otras formas de vida. En este caso, la evolución podría continuar, y la Tierra, con una carga de vida modificada, progresaría todavía... Pero sin nosotros. Esto sería una «catástrofe de cuarta clase».

Podríamos avanzar un paso más y señalar la posibilidad de que la vida humana pudiera continuar, pero que sucediera algo que destruyera la civilización, interrumpiendo la marcha del avance tecnológico y condenase a la Humanidad a una vida primitiva, solitaria, mísera, embrutecida, desagradable y corta, durante un período indefinido. Esto sería una «catástrofe de quinta clase»

En este libro me ocuparé de todas estas variedades de catástrofes, comenzando por las de primera clase y siguiendo con las demás, por turno. Las catástrofes descritas serán cada vez menos cósmicas, y, sucesivamente, más próximas y peligrosas.

No hay necesidad alguna de que el cuadro descrito sea puramente tenebroso, ya que cabe en lo posible que no exista catástrofe que no pueda evitarse, y, en efecto, las posibilidades de evitar una catástrofe aumentan en la medida en que la afrontamos con valentía y calculamos sus riesgos.

PRIMERA PARTE

CATÁSTROFES DE PRIMERA CLASE

Capítulo Primero

EL DÍA DEL JUICIO

Ragnarok

La convicción de que el Universo entero está llegando a su final («catástrofe de primera clase» mencionada en la Introducción) es muy antigua, y, de hecho, representa una parte importante de la tradición occidental. En ella, y a través de los mitos originarios de los pueblos escandinavos, se nos ofrece un cuadro especialmente dramático del final del mundo.

La mitología escandinava es un reflejo del ambiente duro, subpolar, en el que vivieron los intrépidos nórdicos. Es un mundo en el que los hombres y las mujeres desempeñan un pequeño papel, y en el que el drama se basa en el conflicto entre dioses y gigantes, un conflicto en el que los dioses parecen estar en perpetua desventaja.

Los gigantes del hielo (los inviernos escandinavos, largos y crueles) son invencibles, a pesar de todo, e incluso dentro de la fortaleza sitiada de los dioses, Loki (el dios del fuego, que es tan esencial en un clima nórdico) resulta tan engañoso y traidor como el fuego. Y al final surge el *Ragnarok,* que significa «el destino fatal de los dioses». (Ricardo Wagner dio más popularidad a este concepto con el nombre de *Götterdämmerung,* o «crepúsculo de los dioses», en su ópera del mismo nombre.)

Ragnarok es la batalla decisiva final de los dioses y sus enemigos. Detrás de los dioses vienen los héroes del Valhala que, en la Tierra, murieron en la batalla. En el bando contrarío están los gigantes y los monstruos de naturaleza cruel guiados por el renegado, Loki. Los dioses caen uno detrás de otro, aunque los monstruos y los gigantes, también Loki, mueren igualmente. En la lucha perecen la Tierra y el Universo. El Sol y la Luna son tragados por los lobos que han estado persiguiéndoles desde la creación. La Tierra se incendia y se agrieta, incandescente, en un holocausto universal. Casi como una insignificante ocurrencia, al margen de la gran batalla, quedan destruidas la Vida y la Humanidad.

Y eso debería ser, dramáticamente, el final... pero no lo es.

De alguna manera sobrevive una segunda generación de dioses; nacen otro Sol y otra Luna; surge una nueva Tierra; una nueva pareja humana inicia su existencia. Se añade un final feliz anticlímax a la gran tragedia de la destrucción. ¿Cómo pudo ocurrir esto?

La leyenda de Ragnarok, según la conocemos, fue extraída de los escritos del historiador islandés, Snorri Sturluson (1179-1241). En aquella época, Islandia había sido cristianizada y la leyenda del final de los dioses parece haber sufrido una poderosa influencia cristiana. Después de todo, existían historias cristianas de la muerte y regeneración del Universo bastante anteriores a la leyenda islandesa de Ragnarok, y las tradiciones cristianas estuvieron influidas, a su vez, por las historias judaicas.

Esperanzas mesiánicas

Mientras existió el reino de Judea de la casa de David, con anterioridad al año 586 a. de JC, los judíos estaban seguros de que Dios era el juez divino que distribuía premios o castigos entre los creyentes, según sus méritos. Los premios o los castigos se recibían durante esta vida terrenal. Esta creencia no sobrevivió al fracaso.

Cuando Judea fue derrotada por los caldeos en el reinado de Nabucodonosor, después de haber sido destruido el templo y haberse desterrado a Babilonia a un gran número de judíos, entre los exiliados surgió la nostalgia por el retorno del reino y de un rey de la antigua dinastía de David. Como estos deseos, expresados con demasiada claridad, constituían traición contra los nuevos gobernantes no judíos, se introdujo la costumbre de referirse

elípticamente al retorno del rey. Se hablaba del «Mesías», es decir «el ungido», ya que, como parte del rito de asumir el gobierno, se ungía al rey con aceite.

El cuadro del regreso del rey se idealizaba relacionándolo con una maravillosa edad de oro, y, ciertamente, las recompensas de la virtud quedaban lejos del presente (era manifiesto que no se recibían) y aplazadas por un dorado futuro.

Algunos versos del Libro de Isaías describen esa edad de oro repitiendo las palabras de un profeta que predicó en una época tan lejana como 740 años a. de JC. Probablemente, tales versos fueron escritos en un período posterior Naturalmente, para poder establecer la edad de oro, las personas virtuosas del pueblo debían conseguir el poder y había que dominar o destruir incluso a los malvados. Así:

«Y juzgará entre las naciones y reprenderá a muchos pueblos; entonces romperán sus espadas, trocándolas en aladros, y sus lanzas en podaderas. No *alzará* ya espada pueblo contra pueblo, ni se adiestrarán más en la guerra» (Isaías 2:4).

«...sino que juzgará con justicia a los pobres y fallará con rectitud para los humildes del país; ahora bien, golpeará al tirano con la vara de su boca, y con el soplo de sus labios matará al impío» (Isaías 11:4).

Pasó el tiempo y los judíos regresaron del exilio, pero eso no aportó ningún consuelo. Sus vecinos próximos no judíos se mostraban hostiles, y ellos se sentían impotentes ante el poder abrumador de los persas que ahora gobernaban aquella tierra. Por lo tanto, los profetas judíos fueron más gráficos sobre la llegada de la edad de oro y, especialmente, sobre las calamidades que caerían sobre sus enemigos.

El profeta Joel, que escribió aproximadamente el año 400 a. de JC, dijo: «¡Ay, ay, ay del día! Pues el día de Yahvé está próximo, y viene como devastación del Omnipotente» (Joel 1:15). El cuadro se refiere a la venida de un tiempo determinado cuando Dios juzgará a todo el mundo: «Congregaré a todas las gentes y les haré bajar al Valle de Josafat, y entraré allí en juicio con ellos por mi pueblo y mi heredad de Israel...» (Joel 3:2). Ésa fue la primera expresión literaria del «Día del Juicio», cuando Dios pondría fin al orden presente del mundo.

El concepto se fortaleció y se reforzó en el siglo II a. de JC, cuando los seléucidas, los gobernantes griegos que sucedieron al dominio persa después de la época de Alejandro Magno, trataron de acabar con el judaísmo. Los judíos, dominados por los macabeos, se rebelaron, y el *Libro de Daniel* fue escrito para apoyar la rebelión y prometer un futuro resplandeciente.

El libro se basaba, en parte, en tradiciones más antiguas que se referían a un profeta, Daniel. En la boca de Daniel se colocaron descripciones de visiones apocalípticas (1). Dios (al que se refería como el «Anciano») hace su aparición para castigar a los malvados.

«Proseguí viendo en la visión nocturna, y he aquí que en las nubes del cielo venía como un hombre, y llegó hasta el anciano y fue llevado ante Él. Y concediósele señorío, gloria e imperio, y todos los pueblos, naciones y lenguas le sirvieron; su señorío es un señorío eterno que no pasará, y su imperio [un imperio] que no ha de ser destruido» (Daniel 7:13-14).

Este «como un hombre» se refiere a alguien de forma humana en contraste con los enemigos de Judea, que anteriormente se habían representado en forma de bestias diversas. La forma humana puede interpretarse como representación abstracta de Judea o del Mesías en especial.

La rebelión macabea tuvo éxito y se restableció un reino judaico, pero con ello tampoco se consiguió la edad de oro. Sin embargo, los escritos proféticos mantuvieron vivas las esperanzas de los judíos durante los dos siglos siguientes. El Día del Juicio siempre quedó para una fecha próxima; el Mesías estaba siempre a mano; el reino de los justos se hallaba siempre a punto de quedar firmemente establecido.

Los romanos tomaron el poder de los macabeos, y durante el reinado del emperador Tiberio vivió en Judea un profeta popular llamado Juan *el Bautista,* cuyo mensaje exhortaba: «Arrepentíos, pues está cerca del reino de los cielos» (Mateo, 3:2).

Agudizada constantemente de modo semejante la expectación universal, cualquiera

que declarara ser el Mesías tenía sus seguidores. Durante la época de la dominación romana, fueron muchos los que declararon serlo sin que políticamente llegaran a nada. No obstante, entre ellos estuvo Jesús de Nazaret, al que siguieron algunos judíos de condición humilde que le fueron fíeles, incluso después de que Jesús fuese crucificado sin que se *alzara* una mano para salvarle. Los que creyeron en Jesús como el verdadero Mesías fueron llamados mesiánicos. Sin embargo, la lengua de los seguidores de Jesús llegó a ser el griego a medida que aumentaba el número de gentiles convertidos, y el vocablo griego para designar Mesías es *Christós*. Los seguidores de Jesús se llamaron, por lo tanto, «cristianos».

El éxito inicial en la conversión de gentiles se logró gracias a la labor misionera y los sermones carismáticos de Pablo de Tarso (el apóstol Pablo) y, a partir de él, el Cristianismo inició una trayectoria de crecimiento que primero incluyó a Roma, después a Europa y, más tarde, a buena parte del mundo.

Los primeros cristianos creían que la llegada de Jesús, el Mesías (es decir Jesucristo), significaba que el Día del Juicio estaba próximo. Se describía incluso a Jesús haciendo predicciones de un inminente fin del mundo:

«Mas en aquellos días, después de aquella tribulación, el sol se entenebrecerá y la luna no dará su esplendor, y las estrellas irán cayendo del cielo, y las fuerzas que están en los cielos se tambalearán. Y entonces verán al Hijo del hombre viniendo en las nubes con gran poderío y gloria... En verdad os digo que no pasará esta generación sin que todas estas cosas se hayan realizado. El cielo y la tierra pasarán... Lo que toca a aquel día y aquella hora, nadie lo sabe, ni los ángeles en el cielo, ni el Hijo, sino el Padre» (Marcos 13:24-27, 30-32).

Aproximadamente 50 años d. de JC, y veinte años después de la muerte de Jesús, el apóstol san Pablo esperaba todavía el Día del Juicio momentáneamente:

«Porque esto os afirmamos conforme a la palabra del Señor: que nosotros, los vivos, los supervivientes hasta el advenimiento del Señor, no nos adelantaremos a los que durmieron. Porque el mismo Señor, con voz de mando, a la voz del arcángel y al son de la trompeta de Dios, bajará del cielo, y los muertos en Cristo resucitarán primero; luego nosotros, los vivos, los supervivientes, juntamente con ellos seremos arrebatados sobre nubes al aire hacia el encuentro del Señor; y así siempre estaremos con el Señor. Así que consolaos mutuamente con estas palabras. Por lo que toca a los tiempos y a las circunstancias, hermanos, no tenéis necesidad de que os escriba, pues vosotros mismos sabéis que el Señor, como ladrón por la noche, así vendrá» (1 Tesalonicenses 4:15, 5:2).

Pablo, como Jesús, dio a entender que el Día del Juicio estaba próximo, pero tuvo cuidado de no fijar una fecha exacta. Y, según sucedió, el Día del Juicio *no* llegó; el mal *no* se castigó, el reino ideal *no* se estableció y los que creyeron que Jesús era el Mesías tuvieron que contentarse con el presentimiento de que el Mesías tendría que venir una segunda vez (la «Segunda Venida») y que *entonces* sucedería todo lo que había sido profetizado.

Los cristianos fueron perseguidos en Roma durante el reinado de Nerón, y en mucha mayor escala después, en tiempos del emperador Domiciano. Del mismo modo que la persecución de los seléucidas había incitado las promesas apocalípticas del Libro de Daniel, en los tiempos del Antiguo Testamento, así las persecuciones de Domiciano provocaron las promesas apocalípticas del Libro de las Revelaciones en los tiempos del Nuevo Testamento. La revelación fue escrita, probablemente, el año 95 d. de JC durante el reinado de Domiciano.

El Día del Juicio se anuncia con gran detalle, pero con bastante confusionismo. Se habla de la *batalla del gran día* entre todas las fuerzas del mal y las fuerzas del bien en un lugar llamado Harmagedón, aunque los detalles no aparecen con claridad (Ap. 16:14-16). Sin embargo, finalmente: «Y vi un nuevo cielo y una nueva tierra, pues el primer cielo y la primera tierra habían desaparecido...» (Ap. 21:1).

Por consiguiente, es muy posible que, para empezar, cualquiera que fuese la versión del mito escandinavo de Ragnorak, la versión que ha llegado hasta nosotros seguramente debe algo a esa batalla de Harmagedón del Apocalipsis, en su visión de un universo regenerado. Y el Apocalipsis, por su parte, debe mucho al Libro de Daniel.

Milenarismo

El Libro del Apocalipsis introdujo algo nuevo: «Y vi bajar del cielo un ángel que tenía la llave del abismo y una gran cadena en su mano. Y cogió al dragón, la serpiente antigua, que es el diablo y Satanás, y le ató para mil años, y lo lanzó al abismo, y cerró, y puso el sello encima de él, para que no seduzca ya más a las naciones, hasta que se hayan cumplido los mil años; pasados éstos, tienen que ser desatado por breve tiempo» (Ap. 20:1-3).

El porqué el demonio ha de quedar fuera de combate durante un millar de años, o «milenio» y entonces desatarlo «por breve tiempo» no queda muy claro, pero, por lo menos, alivió la tensión de los que creían que el Día del Juicio estaba próximo. Se podía alegar que el Mesías había venido y que el demonio estaba atado, significando que el cristianismo daría fortaleza, pero que la batalla decisiva y el final verdadero llegarían un millar de años después (1).

Parecía natural suponer que el millar de años había empezado a contar desde el nacimiento de Jesús, y en el año 1000 hubo un movimiento de aprensión nerviosa, pero pasó dicha fecha, y el mundo no se acabó.

Las palabras de Daniel y del Apocalipsis eran tan ininteligibles y oscuras, y sin embargo, la urgencia de creer era tan grande que siempre quedaba la posibilidad de que la gente releyera esos libros, reconsiderara las vagas predicciones y fijara nuevas fechas para el Día del Juicio. Incluso grandes científicos, como Isaac Newton y John Napier, participaron en ese juego.

Los que intentaron calcular el principio y el final de ese milenio crucial son llamados algunas veces «milenaristas» o «milenarios». También se les conoce como «quiliastas», palabra derivada del vocablo griego para designar mil años. Resulta extraño que, a pesar de los repetidos fracasos, el milenarismo sea ahora más fuerte que nunca.

Este movimiento comenzó con William Miller (1782-1849), un oficial del Ejército que luchó en la guerra de 1812. Había sido un escéptico, pero después de la guerra se convirtió en lo que ahora llamaríamos un cristiano renacido. Empezó a estudiar a Daniel y el Apocalipsis y llegó a la conclusión de que la Segunda Venida tendría lugar el 21 de marzo de 1844. Apoyaba su teoría en cálculos complicados y predijo que el mundo acabaría por el fuego según las características de las terribles descripciones del Libro del Apocalipsis.

Consiguió reunir unos cien mil adeptos, y en el día señalado muchos de ellos, después de vender sus bienes terrenales, se agruparon en las laderas de las montañas para ser arrebatados hacia arriba al encuentro con Cristo. El día transcurrió sin incidente alguno, por lo cual Miller hizo nuevos cálculos y fijó la fecha del 22 de octubre de 1844 como el nuevo día, pero también esa fecha transcurrió sin incidente alguno. Cuando Miller murió en 1849, el Universo continuaba todavía su marcha habitual.

Sin embargo, muchos de sus seguidores no se descorazonaron. Interpretaron los libros apocalípticos de la Biblia de tal manera que los cálculos de Miller indicaban el principio de algún proceso celestial invisible para la conciencia común de la Tierra. Quedaba todavía otro «milenio» de espera, según cierta teoría, y la Segunda Venida, o el «Advenimiento» de Jesús, quedó pospuesto de nuevo para el futuro, pero, como había sucedido siempre, para un futuro no demasiado lejano.

Así fue como quedó fundado el movimiento adventista, que se dividió en diversas sectas, incluyendo los adventistas del Séptimo Día, que retornaron a las normas del Antiguo Testamento como, por ejemplo, guardar el Sabbath (sábado) (el séptimo día).

Charles Taze Russell (1852-1916) adoptó las teorías adventistas, y en 1879 fundó una organización que se llamó Testigos de Jehová.

Russell esperaba la Segunda Venida momentáneamente y la predijo en días distintos, siguiendo el estilo de Miller, obteniendo un nuevo fracaso cada vez. Murió durante la Primera

Guerra Mundial, que debió parecerle la obertura del final, batallas culminantes descritas en el Apocalipsis, pero tampoco llegó al Advenimiento.

Sin embargo, el movimiento continuó floreciendo, bajo la dirección de Joseph Franklin Rutherford (1869-1942). Éste esperaba la Segunda Venida con el emocionante lema: «Los millones que ahora viven nunca morirán.» Murió durante la Segunda Guerra Mundial, que de nuevo debió de parecer el principio del final, las batallas culminantes descritas en el Apocalipsis, pero tampoco se produjo el Advenimiento.

A pesar de todo, el movimiento continúa su progreso, contando en la actualidad con más de un millón de adeptos.

Capítulo II

EL AUMENTO DE LA ENTROPÍA

Las leyes de la conservación

Ésta es la referencia al «universo mítico». Sin embargo, junto al aspecto mítico existe una perspectiva científica del universo a base de observaciones y experimentos (y, ocasionalmente, de presentimientos intuitivos que, por serlo, han de apoyarse en observaciones y experimentos).

Pasemos a examinar este universo científico (como lo haremos en el resto del libro). ¿Está condenado el universo científico, como el universo mítico, a perecer? Y si es así, ¿cómo, por qué y cuándo?

Los antiguos filósofos griegos creyeron que, puesto que la Tierra albergaba el cambio, la corrupción y la podredumbre, los cuerpos celestiales seguían diferentes normas y eran inmutables, incorruptibles y eternos. Los cristianos medievales creyeron que el Sol, la Luna y las estrellas sufrirían su común destrucción el Día del Juicio, pero que hasta aquel momento eran, si no eternas, por lo menos inmutables e incorruptibles.

Esta creencia comenzó a modificarse cuando el astrónomo polaco Nicolás Copérnico (1473-1543), publicó en 1543, un libro cuidadosamente razonado, en el que la Tierra quedaba fuera de su posición única como centro del Universo y se presentaba como un planeta que, al igual que los restantes, daba vueltas alrededor de! Sol. Era al Sol al que correspondía esa única posición central.

Naturalmente, la teoría de Copérnico no fue aceptada inmediatamente, y de hecho, encontró una violenta oposición durante sesenta años. Con la introducción del telescopio, que se utilizó por primera vez para contemplar el cielo, en 1609, por el científico italiano Galileo (1564-1642), desapareció la oposición despojándola de cualquier respetabilidad científica y reduciéndola a un simple oscurantismo porfiado. Por ejemplo, Galileo descubrió que Júpiter tenía cuatro satélites que daban vueltas a su alrededor constantemente, desautorizando de este modo, de una vez para siempre, que la Tierra fuese el centro alrededor del cual girasen *todas* las cosas. Descubrió que Venus mostraba un ciclo entero de fases lunares, tal como Copérnico había predicho, mientras que las anteriores opiniones habían sustentado lo contrario.

A través de su telescopio, Galileo observó también que la Luna parecía estar cubierta por montañas y cráteres, y lo que a él le parecieron mares, demostrando con ello que la Luna (y por extensión los otros planetas) eran mundos como la Tierra, y, por consiguiente, sujetos, probablemente, a las mismas leyes de cambio, corrupción y putrefacción. Descubrió manchas oscuras en la superficie del Sol, de manera que ese objeto trascendente que entre todas las cosas materiales parecía ser el que más se aproximaba a la perfección de Dios, era también, después de todo, imperfecto.

En su búsqueda de lo eterno, entonces, o, por lo menos, por aquellos aspectos de lo eterno que pudieran ser observados y que, por tanto, formaran parte del universo científico, la gente tuvo que alcanzar un nivel más abstracto de experiencia. Si las cosas no eran eternas, quizá lo era la relación entre las cosas.

En 1668, por ejemplo, el matemático inglés John Wallis (1616-1703) investigó el comportamiento de los cuerpos en colisión y expresó la opinión de que en el proceso de la colisión algún aspecto del movimiento no sufre cambio.

Así es cómo se desarrolla. Todos los cuerpos en movimiento poseen algo llamado *momentum* (que es la palabra latina de la que se deriva «movimiento»). Su *momentum* es igual a su masa (que puede definirse aproximadamente como la cantidad de materia que contiene) multiplicada por su velocidad. Si el movimiento sigue una dirección determinada, el *momentum* puede darse con signo positivo; en dirección opuesta, con signo negativo.

Si dos cuerpos se aproximan de frente, existirá un *momentum* total que podemos

determinar restando el *momentum* negativo de uno del *momentum* positivo del otro. Cuando han chocado y retroceden, la distribución del *momentum* entre los dos cuerpos cambiará, pero el *momentum* total será el mismo de antes. Si chocan y se adhieren uno a otro, el cuerpo de nueva combinación tendrá una masa distinta a la de cada uno de ellos por separado y una velocidad diferente también a la de cada uno de ellos, pero el *momentum* total continuará siendo el mismo. El *momentum* total, permanece constante, aunque los cuerpos choquen en ángulo en vez de hacerlo de frente y reboten en direcciones distintas.

Los experimentos de Wallis y otros muchos que se hicieron después han demostrado que en cualquier «sistema cerrado» (aquel en que no entra *momentum* del exterior y tampoco se pierde *momentum* hacia fuera), el *momentum* total permanece siempre constante. La distribución del *momentum* entre los cuerpos en movimiento del sistema puede cambiar de un número infinito de maneras, pero el total se mantiene siempre igual. Por tanto, el *momentum* queda «conservado», es decir ni gana ni pierde; el principio se llama «ley de la conservación del *momentum».*

Como el único sistema realmente cerrado es el universo en su conjunto, la manera general de establecer la ley de conservación del *momentum* se define diciendo que «el *momentum* total del Universo es constante». En esencia, permanece inalterable a través de toda la eternidad; sin importar los cambios que tengan lugar, o que se puedan producir, el *momentum* total no varía.

¿Cómo podemos estar seguros de esto? ¿Cómo podemos afirmar, por unas cuantas observaciones efectuadas por algunos científicos durante varias centurias, en condiciones de laboratorio, que el *momentum* se conservará durante un millón de años a partir de ahora, como fue conservado hace un millón de años? ¿Cómo podemos decir si en este preciso momento está conservado a un millón de años luz de distancia en otra galaxia o en nuestra propia vecindad en condiciones tan distintas como las del centro del Sol?

No podemos afirmarlo. Todo lo que podemos decir es que en ningún momento y en cualesquiera condiciones hemos observado violación alguna de la ley. No hemos descubierto nada que indique que en algún instante hubiese sido violada. Además, todas las consecuencias que deducimos en la suposición de que la ley es fidedigna parecen tener lógica y se ajustan a lo que se observa. Por tanto, los científicos creen poseer un amplio derecho para *asumir* (siempre abiertos a recibir la evidencia de lo contrario) que la conservación del *momentum* es una «ley de naturaleza» que se mantiene universalmente a través de todo el espacio y el tiempo y en cualesquiera condiciones.

La conservación del *momentum* fue sólo la primera de una serie de leyes descubiertas por los científicos. Por ejemplo, se puede hablar del *«momentum* angular», propiedad que poseen los cuerpos que giran alrededor de un eje de rotación o alrededor de un segundo cuerpo en otra parte. En cualquiera de ambos casos, se calcula el *momentum* angular partiendo de la masa de un cuerpo, su velocidad de giro y la distancia media de sus partes desde el eje o centro alrededor del que gira. Hay una ley de conservación del *momentum* angular. El *momentum* angular total del Universo es siempre constante.

Además, los dos tipos de *momentum* son independientes uno de otro y no son intercambiables. No se puede cambiar un *momentum* angular en un *momentum* corriente (llamado algunas veces *momentum* lineal para diferenciarlo del otro), o viceversa.

Una serie de experimentos llevados a cabo en 1774, por el químico francés Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794), sugirieron que la masa estaba conservada. Dentro de un sistema cerrado, algunos cuerpos podrían perder masa y otros podrían ganarla, pero el total de masa del sistema permanecía constante.

Gradualmente, el mundo científico desarrolló el concepto de «energía», facultad que posee un cuerpo para realizar un trabajo (esta palabra, energía, se deriva de un vocablo griego que significa «virtud para obrar»). El primero que utilizó la palabra con su significado moderno fue el físico inglés Thomas Young (1773-1829) en 1807. Una serie de diferentes fenómenos era capaz de hacer un trabajo (calor, movimiento, luz, sonido, electricidad,

magnetismo, cambio químico, etc.) y todos ellos fueron considerados como distintas formas de energía.

Se desarrolló el concepto de que una forma de energía podía convertirse en otra, que algunos cuerpos podrían perder energía de una forma u otra y que otros cuerpos podrían ganar energía de una u otra forma, pero que en cualquier sistema cerrado la energía total de todas las formas era constante. El físico alemán Hermann L. F. von Helmholtz (1821-1894) fue el primer convencido de esta teoría, y en 1847 consiguió persuadir a todo el mundo científico en general. Por consiguiente, Helmholtz ha sido considerado el descubridor de la ley de conservación de la energía.

En 1905, el físico suizo-germano Albert Einstein (1879-1955) pudo argumentar convincentemente que la masa era una forma más de energía, que una determinada cantidad de masa podía ser convertida en una cantidad fija de energía, y viceversa.

Por esa razón, la ley de conservación de la masa desapareció como una ley aparte de conservación, y actualmente se habla tan sólo de la ley de conservación de la energía, dando por supuesto que esa masa está incluida como una forma de energía.

Cuando el físico británico Ernest Rutheford (1871-1937) estableció, en 1911, la estructura nuclear del átomo, se descubrió que existían partículas subatómicas que no sólo seguían las leyes de conservación del *momentum, momentum* angular y energía, sino también las leyes de conservación de la carga eléctrica, número, giro isotópico y algunas otras reglas semejantes.

Las diversas leyes de conservación son realmente las reglas básicas del juego desarrollado por todos los fragmentos y piezas del Universo; y todas esas leyes son generales y eternas, hasta donde nos es posible comprobar. Si una ley de conservación resulta finalmente no ser válida, se demuestra que es así porque forma parte de una ley más generalizada. Así fue como la conservación de la masa dejó de ser útil, formando parte de una conservación de energía más general que incluye la masa.

Por tanto, éste es un aspecto del Universo que parece ser eterno y sin principio ni fin. La energía que ahora contiene el Universo estará siempre presente allí precisamente en la misma cantidad que ahora, y lo ha estado siempre justamente en idéntica cantidad que ahora. Y lo mismo se puede decir del *momentum,* el *momentum* angular, la carga eléctrica, etc. Habrá muchos tipos de cambios locales cuando esta o aquella parte del Universo pierda o gane una de estas energías conservadas, o una de las energías conservadas cambie su forma, pero el total era, es y será, inmutable.

Corriente de energía

Tracemos ahora un paralelismo entre el Universo mítico y el Universo científico.

En el caso del Universo mítico, existe un reinado celestial eterno e inmutable, y su oponente, el mundo cambiante de la carne que nos es familiar. Es este mundo cambiante el que creemos puede llegar a su fin; únicamente para este mundo cambiante tiene significado la palabra «final», o «principio», para este caso. No es tan sólo cambiante, sino también temporal.

En el Universo científico existen las propiedades conservadas, eternas e inmutables, contra las que está un mundo cambiante que se desenvuelve en el medio y de acuerdo con las normaste esas propiedades conservadas, Únicamente para este mundo cambiante la palabra «final», o «principio», tiene significado. No es únicamente cambiante, sino también temporal.

Pero ¿por qué habría de existir un aspecto cambiante y temporal del Universo científico? ¿Por qué los componentes del Universo no se agrupan formando un objeto súper masivo con determinado *momentum, momentum* angular, carga eléctrica, contenido de energía, etc., manteniéndose inmutables para siempre?

¿Por qué, en vez de eso, el Universo consiste en una miríada de objetos de todos los

tamaños que constantemente transfieren fracciones de las propiedades conservadas de uno a otro? (1).

El poder impulsor de todos estos cambios es, aparentemente, la energía, de modo que, en cierto modo, la energía es la propiedad más importante que el Universo posee, y la ley de la conservación de la energía está considerada por algunos como la más básica de todas las leyes de la Naturaleza.

La energía impulsa todos los cambios del Universo, participando por sí misma en esos cambios. Circulan fracciones de energía de un lado a otro, de un cuerpo a otro, algunas veces cambiando de forma al hacerlo. Esto significa que hemos de preguntarnos qué es lo que impulsa la energía hacia uno u otro lado.

Evidentemente, la razón de esto es que la energía se esparce por el Universo de un modo irregular; en algunos lugares se presenta en forma más concentrada y menos en otros. Todo el flujo de fracciones de energía de un lugar a otro, de un cuerpo a otro, de una forma a otra, se lleva a cabo de tal modo que la tendencia es equilibrar la distribución (2). Es el fluido de la energía el que convierte en regular una distribución irregular, útil para el trabajo y para aportar todos los cambios que apreciamos; todos los cambios que asociamos con el Universo, tal como lo conocemos, con vida e inteligencia.

Y lo que es más. La nivelación de la energía es espontánea. Nada tiene que estimular el flujo de energía necesario para producirlo. Se equilibra por sí solo. Es autocompensador.

Pongamos un pequeño ejemplo. Supongamos que hubiera dos grandes depósitos de igual tamaño conectados cerca del fondo por un tubo horizontal obturado, de manera que no existe comunicación entre los dos depósitos. Uno de ellos se llena con agua hasta el borde, mientras que en el otro se pone sólo un poco de agua.

El depósito que está lleno tiene un nivel más alto de agua, por término medio, que el depósito que está casi vacío. Para elevar el nivel del agua contra la fuerza de la gravedad, se requiere una entrada de energía, de modo que el agua del depósito lleno posee un nivel de agua superior con respecto al campo gravitacional que el agua del depósito casi vacío. Por razones históricas, decimos que el agua del depósito lleno tiene más «energía potencial» que el agua del depósito casi vacío.

Imaginemos ahora que se abre el tubo que conecta los dos depósitos. El agua fluirá rápidamente del lugar en donde contiene una energía potencial mayor al lugar en donde el potencial es menor. El agua fluirá del depósito lleno al casi vacío, espontáneamente.

Estoy seguro de que en ninguna mente, siempre que esta mente haya tenido alguna experiencia del mundo, existirá la menor duda de que éste es un hecho espontáneo e inevitable. Si se abriera el tubo y el agua no fluyera desde el depósito lleno al depósito casi vacío, inmediatamente creeríamos que el tubo que los conecta no se había abierto y seguía, por tanto, obturado. Si la escasa agua del depósito casi vacío fluyera al depósito lleno, creeríamos que se estaba transvasando por medio de una bomba.

Si el tubo estaba abierto sin duda alguna, y si era evidente que no se utilizaba ninguna clase de bomba y si el agua no fluyera del depósito lleno al depósito casi vacío, o si, peor todavía, el agua fluyera en dirección contraria, deberíamos llegar a la inquietante conclusión de que estábamos siendo testigos de algo que sólo podía calificarse de milagroso. (No es necesario subrayar que un milagro de este tipo nunca ha sido visto ni registrado en los anales de la ciencia.) (1).

De hecho, es tan seguro el flujo espontáneo del agua del depósito lleno al casi vacío, que lo utilizamos, automáticamente, como una medida de la dirección de tiempo-flujo.

Supongamos que alguien haya rodado una película de lo que sucede en los dos depósitos, y nosotros estuviéramos viendo los resultados. El tubo de conexión se abre y el agua no fluye. Inmediatamente llegaríamos a la conclusión de que la película no corría, y que nosotros estábamos contemplando «una vista fija». En otras palabras en el Universo de la cinematografía, el tiempo se había detenido.

Supongamos ahora que la película nos mostrara el agua fluyendo del depósito casi

vacío al depósito lleno. Estaríamos seguros de que la película corría al revés. En el Universo del cine, la dirección de tiempo-flujo era al revés de lo que es en la vida real. (De hecho, el efecto de pasar una película al revés casi siempre es humorístico, porque entonces ocurren muchas cosas que sabemos nunca suceden en la vida real. Las salpicaduras del agua se absorben hacia adentro, mientras que el nadador sale del agua, con los pies por delante, y se posa en un trampolín. Los fragmentos de un vaso roto se arrastran para unirse, encajando perfectamente y formando un objeto intacto; el cabello alborotado por el viento se arremolina y se convierte en un peinado impecable. Contemplando cualquiera de estos hechos, nos percatamos de que muchos casos de la vida real son claramente espontáneos; de cómo cuántas reversiones, en caso de producirse, parecerían claramente milagrosas y de cómo distinguimos una de otra, simplemente a través de nuestra experiencia.)

Volviendo a los dos depósitos de agua, es fácil demostrar que la velocidad media con que el agua fluye del depósito lleno al depósito casi vacío, depende de la diferencia en la distribución de energía. Al principio, el potencial de energía del agua del depósito lleno es considerablemente mayor que el potencial de energía del agua del depósito casi vacío, de modo que el agua fluye rápidamente.

A medida que el nivel de agua del depósito lleno desciende y se eleva el nivel del vacío, la diferencia en potencial de energía entre los dos depósitos disminuye invariablemente, de manera que la distribución de energía es menos irregular y el agua fluye a un promedio constantemente decreciente. Cuando los dos niveles están casi igualados, el agua fluye muy despacio, y cuando los niveles de agua de los dos depósitos son iguales, y no existe absolutamente ninguna diferencia en el potencial de energía entre ambos, el agua detiene por completo su curso.

Resumiendo, el cambio espontáneo se produce de un estado de distribución desigual de energía a un estado de igual distribución de energía, y a un promedio que es proporcional a la cifra de desigualdad. Tan pronto como la distribución de energía *alcanza* un mismo nivel, el cambio *cesa.*

Si observáramos dos depósitos de agua conectados entre sí, ambos con el mismo nivel, y sin absolutamente ninguna intervención exterior, el agua fluyera en una u otra dirección, de manera que el nivel de uno de los depósitos se elevara mientras que en el otro bajara, estaríamos contemplando un milagro.

El agua corriente puede desarrollar trabajo. Puede mover una turbina que generará fluido eléctrico, o, simplemente, puede arrastrar cosas con ella. A medida que el promedio de fluido de agua disminuye, la proporción en que el trabajo puede hacerse aminora también. Si el agua deja de correr, no puede realizarse más trabajo.

Cuando el flujo del agua se detiene, cuando la altura del agua es la misma en ambos depósitos, todo se detiene. Toda el agua continúa allí todavía. Toda la energía está allí aún. Sin embargo, toda esa agua y energía *ya no están distribuidas desigualmente.* Es la distribución desigual de energía la que produce cambio, movimiento y trabajo, mientras se esfuerza en alcanzar una distribución uniforme. Cuando la distribución se ha equilibrado, ya no hay cambio, ni movimiento, ni trabajo.

Y lo que es más, el cambio espontáneo siempre se produce desde una distribución desigual a una distribución igual, y cuando se ha logrado la distribución igual, jamás volverá espontáneamente a una distribución desigual (1).

Veamos otro ejemplo: en lugar de nivel de agua esta vez nos referimos al calor. Tomemos dos cuerpos. Uno de ellos puede contener una mayor intensidad de energía de calor que el otro. El nivel de intensidad de energía calorífica se mide como «temperatura». Cuanto mayor es el nivel de intensidad de energía calorífica de un cuerpo, tanto mayor es la temperatura y tanto más su calor. Se puede hablar, por tanto, de un cuerpo caliente y de un cuerpo frío y encontrar su equivalencia con nuestro caso anterior del depósito lleno y el depósito casi vacío.

Supongamos que los dos cuerpos formasen un sistema cerrado, de modo que ningún

calor pudiera introducirse en ellos, procedente del Universo exterior, ni tampoco pudiera escapar de ellos ningún calor hacia el Universo exterior. Ahora imaginemos los dos cuerpos, el caliente y el frío, en contacto.

Sabemos con exactitud lo que sucedería partiendo de nuestra experiencia en la vida real. El calor fluirá del cuerpo caliente hacia el cuerpo frío, del mismo modo que el agua fluirá desde un depósito lleno a un depósito vacío. Mientras continúa el flujo de calor, el cuerpo caliente se enfriará y el cuerpo frío se calentará, del mismo modo que el depósito rebosante quedó menos lleno y el vacío se llenó más. Finalmente, los dos cuerpos tendrán la misma temperatura, de la misma manera que los dos depósitos terminaron con el mismo nivel de agua.

Aquí también, el promedio de flujo de calor desde el cuerpo caliente al cuerpo frío depende del nivel de desigualdad en la distribución de energía. Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre los dos cuerpos, tanto más rápidamente el calor fluirá del cuerpo caliente al cuerpo frío. Al mismo tiempo que el cuerpo caliente se enfría y el cuerpo frío se calienta, la diferencia de temperatura disminuye, y también lo hace el promedio de flujo del calor. Por último, cuando los dos cuerpos están a la misma temperatura, el flujo de calor se detiene por completo y cesa de fluir en cualquier dirección.

Aquí también la dirección del flujo de calor es espontánea. Si dos cuerpos de temperatura diferente se juntaran, y si el calor no fluyera, o si el calor fluyera del cuerpo frío al cuerpo caliente, de modo que el cuerpo frío se enfriaría más todavía y el cuerpo caliente se calentara más, y si estábamos seguros de que se trataba de un sistema cerrado realmente y de que no había trampa, deberíamos llegar a la conclusión de que estábamos presenciando un milagro. (Y, repetimos, nadie ha sido testigo de un milagro semejante que los científicos hayan podido registrar.)

De nuevo, cuando los dos cuerpos están a la misma temperatura no tiene lugar ya ningún flujo de calor que hiciera que alguno de los cuerpos se calentara o enfriara.

Tales cambios están también relacionados con el flujo del tiempo. Si observásemos una película de los dos objetos, enfocando un termómetro a cada uno de ellos, y comprobáramos que una temperatura continuaba alta y la otra baja, sin sufrir cambios, sacaríamos la conclusión de que la película estaba parada. Si notásemos que la columna de mercurio del termómetro que marcara mayor temperatura se elevaba todavía más, mientras que la columna de mercurio en el otro termómetro descendía más aún, creeríamos que se estaba pasando la película al revés.

Usando un cuerpo caliente y otro frío, podríamos conseguir un rendimiento de trabajo del flujo de calor. El calor procedente del cuerpo caliente podría evaporar un líquido y el vapor en expansión podría accionar un pistón. El vapor llevaría entonces el calor hasta el cuerpo frío, se convertiría nuevamente en líquido, y el proceso podría continuar una y otra vez.

Mientras se realiza el trabajo y fluye el calor, el cuerpo caliente transfiere su calor al líquido en evaporación y el vapor, al condensarse, transfiere su calor al cuerpo frío. Por tanto, el cuerpo caliente se enfría y el cuerpo frío se calienta. Cuando las temperaturas de ambos se van aproximando, el promedio de fluidez del calor decrece, y asimismo disminuye el ritmo de trabajo. Cuando los dos cuerpos tienen la misma temperatura, cesa el flujo de calor y no se realiza ningún trabajo. Los cuerpos están allí todavía, toda la energía del calor está allí, pero no existe ya una distribución desigual de calor, y, por tanto, ningún cambio, ningún movimiento, ningún trabajo.

Repetimos, el cambio espontáneo se produce por una distribución desigual de energía que se equilibra, desde la capacidad de cambio, movimiento y trabajo, a la ausencia de tal capacidad, y cuando esa capacidad desaparece, no se recupera de nuevo.

La segunda ley de la termodinámica

Los estudios sobre la energía requieren normalmente una consideración cuidadosa del flujo de calor y de los cambios de temperatura porque éste es el aspecto más fácil del tema que se puede desarrollar en el laboratorio, y porque tuvo también una importancia especial en una época en que los motores de vapor constituían el método más logrado para convertir energía en trabajo. Por esta razón la ciencia del cambio-energía, flujo-energía, y la conversión de energía en trabajo, fue llamada «termodinámica», derivada de dos palabras griegas que significaban «calor-movimiento».

La ley de la conservación de la energía es conocida algunas veces como «la primera ley de la termodinámica» porque constituye la primera norma básica que regula lo que sucederá y lo que no sucederá en relación con la energía..

El cambio espontáneo de una distribución equilibrada de energía a una distribución uniforme es conocido como «la segunda ley de la termodinámica».

La segunda ley de la termodinámica fue prefigurada ya en 1824, cuando el físico francés Nicolás S. L. Carnot (1796-1832) estudió por vez primera, con minucioso detalle, la corriente calorífica en los motores de vapor.

Sin embargo, hasta el año 1850, el físico alemán Rudolf J. E. Clausius (1822-1888) no sugirió que este proceso de nivelación era aplicable a todas las formas de energía y a todos los procesos del Universo. Por consiguiente, se ha considerado a Clausius como el descubridor de la segunda ley de la termodinámica.

Clausius demostró que una cantidad basada en la proporción del calor total a la temperatura de cualquier cuerpo determinado era importante en relación con el proceso de nivelación. Asignó el nombre de «entropía» a esa cantidad. Cuanto menor es la entropía, tanto más desigual será la distribución de energía. Cuanto mayor la entropía, tanto más equilibrada será la distribución de energía. Como la tendencia espontánea parece producirse invariablemente para cambiar una distribución desigual de energía transformándola en distribución nivelada, podemos decir que la tendencia espontánea parece estar encaminada en todos los casos a transformar una entropía baja en una entropía alta.

Podemos explicarlo como sigue:

La primera ley de la termodinámica establece: el contenido de energía del Universo es constante.

La segunda ley de la termodinámica establece: el contenido de entropía del Universo aumenta constantemente.

Si la primera ley de la termodinámica parece indicar que el Universo es inmortal, la segunda ley nos demuestra que esa inmortalidad, es, en cierto modo, sin valor. La energía estará siempre presente, pero no siempre podrá aportar cambio, movimiento y trabajo.

Algún día, la entropía del Universo llegará a su máximo y toda la energía se equilibrará. Entonces, aunque la energía esté allí, no será posible que se produzca ningún cambio, ningún movimiento, ningún trabajo, ninguna vida, ninguna inteligencia. El Universo continuará existiendo, pero únicamente como una estatua helada del Universo. La película dejará de rodar y nosotros quedaremos para siempre con el aspecto de una «vista fija».

Dado que el calor es la forma de energía menos organizada y la que tiende más fácilmente a esparcirse distribuyéndose por igual, cualquier cambio a calor de cualquier forma de energía no calorífica representa un incremento de entropía. El cambio espontáneo se produce siempre de electricidad a calor, de energía química a calor, de energía radiante a calor, y así sucesivamente.

Por consiguiente, a una entropía máxima, se habrán convertido en calor todas las formas de energía capaces de convertirse, y todas las partes del Universo estarán a la misma temperatura. Esto ha sido llamado algunas veces «la muerte por calor del Universo» y, según lo que se ha expuesto hasta aquí, este final parecería inevitable e inexorable.

Los finales del Universo mítico y del Universo científico son, por tanto, muy diferentes. El Universo mítico termina con una vasta conflagración y se destruye; acaba de

repente. El Universo científico, si está predestinado a la muerte por el calor, acabará con un prolongado gemido.

El final del Universo mítico parece esperarse siempre para un próximo futuro. El final del Universo científico por el camino del calor mortal queda muy lejos todavía. Por lo menos, está a mil millones de años, quizás a muchos miles de millones de años en el futuro. Considerando que la edad actual del Universo se calcula tan sólo en unos quince mil millones de años, nos hallamos evidentemente en la infancia de su vida.

No obstante, aunque el final del Universo mítico se describe normalmente como violento y próximo, se acepta porque lleva intrínseca la promesa de la regeneración. El final del Universo científico, muerte por el calor, aunque sea pacífico y esté muy lejos en el futuro, no parece llevar consigo ninguna promesa de regeneración, sino ser definitivamente el final; al parecer, esto es algo difícil de aceptar. La gente busca alguna salida.

Después de todo, los procesos que son espontáneos pueden, a pesar de todo, revertir. El agua puede elevarse con una bomba, aunque su tendencia sea la de buscar el nivel. Los objetos pueden enfriarse por debajo de la temperatura ambiente y ser conservados en un refrigerador; o calentados a mayor temperatura que la ambiental y ser mantenidos en un horno. Considerándolos desde ese aspecto, cabe creer que quizás el inexorable aumento de entropía podría ser vencido.

Algunas veces, el proceso de aumento de entropía se describe imaginando que el Universo es un enorme reloj de indescriptible complejidad que lentamente reduce su marcha. Bien, los seres humanos poseemos relojes que pueden, y así lo hacen, reducir la marcha, pero nosotros siempre podemos darles cuerda. ¿No podría existir algún proceso análogo con respecto al Universo?

Ciertamente, no hemos de imaginar que se llegue a una reducción de entropía tan sólo por medio de la acción deliberada de los seres humanos. La propia vida, totalmente aparte de la inteligencia humana, parece desafiar la segunda ley de la termodinámica. Los individuos mueren, pero nacen nuevos individuos, y la juventud prevalece ahora como siempre lo hizo. La vegetación muere en invierno, pero crece de nuevo en la primavera. La vida ha continuado en la Tierra durante más de tres mil millones de años y no muestra ningún signo de disminuir. De hecho, los signos son de expansión, pues durante toda la historia de la vida de la Tierra, la vida ha crecido cada vez más compleja tanto en el caso de los organismos individuales como en el encadenamiento ecológico que los relaciona. La historia de la evolución biológica representa un *vasto* descenso de entropía.

Por ello, algunas personas han tratado de definir la vida como un mecanismo de descenso de entropía. Si esto fuese verdad, el Universo no podría experimentar una muerte por calor, ya que allí donde la vida ejerce influencia automáticamente actuaría para disminuir la entropía. Sin embargo, esta teoría es equivocada. La vida no es un mecanismo que haga disminuir la entropía y no puede, por sí misma, impedir la muerte por el calor. Creer eso y en la certeza de su posibilidad, está basado en un deseo ardiente y una comprensión imperfecta.

Las leyes de la termodinámica se aplican a los sistemas cerrados. Si se utiliza una bomba para disminuir la entropía y hacer subir agua montaña arriba, la bomba tiene que ser considerada como parte del sistema. Si se utiliza un refrigerador para disminuir la entropía enfriando los objetos a una temperatura menor a la del ambiente, ese refrigerador ha de ser considerado como parte del sistema. Ni la bomba ni el refrigerador pueden ser considerados simplemente por sí mismos. Sea lo que fuere a lo que están conectados, cualquiera que sea la fuente de su poder, eso también tiene que ser considerado como parte del sistema.

En todas las ocasiones en que el ser humano y las herramientas humanas se utilizan para disminuir la entropía e invertir una acción espontánea, el resultado que se logra es que los seres humanos y las herramientas humanas implicados en ese proceso, sufran un aumento de entropía. Y lo que es más todavía, ese aumento de entropía en los seres humanos y sus herramientas es mucho mayor, *invariablemente,* que la disminución de esa parte del sistema de la que se invierte la reacción espontánea. Por consiguiente, la entropía de todo el sistema

aumenta; *siempre* aumenta.

Un ser humano puede durante su vida, ciertamente, invertir muchas, muchísimas reacciones espontáneas, y muchos seres humanos, trabajando juntos, han construido la enorme red de trabajo tecnológico que cubre la Tierra, desde las pirámides de Egipto y la Gran Muralla de China hasta el último de los rascacielos y diques. ¿Es posible que los seres humanos experimenten un aumento tan enorme de entropía y sigan todavía avanzando?

De nuevo ponemos de relieve que no se puede considerar a los seres humanos por sí mismos. Ellos no forman ningún sistema cerrado. Un ser humano come, bebe, respira, elimina productos de desecho, y todas esas manifestaciones son relacionadas con el Universo exterior, conductos por los que la energía entra o sale. Si se quiere considerar a un ser humano como un sistema cerrado, hay que tener en cuenta también lo que come, bebe, respira y elimina.

La entropía de un ser humano se eleva a medida que invierte las acciones espontáneas, y como ya he dicho, su aumento de entropía se incrementa en mayor grado que la disminución de entropía que produce. Sin embargo, un ser humano disminuye su entropía continuamente al comer, beber, respirar y eliminar. (Naturalmente, la disminución no es perfecta; a veces, cada ser humano se muere, a causa de los aumentos lentos de entropía por uno y otro lado que no pueden recuperarse.)

Sin embargo, el aumento de entropía en el agua, el alimento, el aire y las porciones de eliminación del sistema, está, repito, muy por encima de la disminución de entropía del propio ser humano. Existe un aumento de entropía para el sistema entero.

De hecho, toda la vida animal, y no únicamente el ser humano, se desarrolla y mantiene su entropía a un bajo nivel a costa de un gran aumento en la entropía de su alimentación, que consiste, si la analizamos, en la vegetación de la Tierra. ¿Cómo es posible, por tanto, que siga existiendo el mundo vegetal? Después de todo, no puede existir mucho tiempo si su entropía aumenta constantemente.

El mundo vegetal produce el alimento y el oxígeno (el componente clave del aire) del que vive el mundo animal a través de un proceso conocido como «fotosíntesis». Esto ha venido ocurriendo durante miles de millones de años; pero la vida animal y vegetal consideradas como un todo tampoco son un sistema cerrado. Las plantas reciben del sol la energía que origina su producción de alimento y de oxígeno.

Por tanto, es el Sol el que hace posible la vida y el propio astro rey ha de ser incluido como formando parte del sistema de vida antes que las leyes de la termodinámica puedan ser aplicadas a la vida. La entropía del Sol aumenta constantemente en una proporción que supera, en mucho, cualquier disminución de entropía que la vida aporte. Por consiguiente, la red de cambios en entropía del sistema que incluye la vida *y* el Sol, aumenta constante y considerablemente. La vasta disminución de entropía representada por la evolución biológica se convierte, por tanto, en una simple onda en la oleada de aumento de entropía representada por el Sol, y concentrarse en la onda excluyendo la oleada es una interpretación totalmente equivocada de los hechos de la termodinámica.

Los seres humanos utilizan otras fuentes de energía, además del alimento y del oxígeno que comen y respiran. Utilizan la energía del viento y del agua corriente, pero ambos son productos del Sol, ya que los vientos son el producto de un calentamiento desigual de la Tierra por el Sol, y el agua comienza a correr a causa de la evaporación del océano por el Sol.

Los seres humanos utilizan combustible para obtener energía. Ese combustible puede ser la madera u otros productos vegetales, basados en la luz del Sol. Puede ser grasa u otros productos animales, y los animales se alimentan de vegetales. Puede ser el carbón, producto del crecimiento vegetal de otras épocas. Puede ser el petróleo, producto del microscópico crecimiento animal de otras épocas. Todos esos combustibles nos llevan al Sol.

Existen energías en la Tierra que no provienen del Sol. En el calor interno de la Tierra hay energía que produce manantiales de agua caliente, géiseres, terremotos, volcanes y movimientos en la corteza terrestre. Hay energía en la rotación de la Tierra, demostrada por las mareas. Existe energía en las reacciones químicas inorgánicas y en la radiactividad.

Todas estas fuentes de energía producen cambios, pero en todos los casos hay un aumento de entropía. Los materiales radiactivos degeneran lentamente y cuando su calor ya no se añada al calor interno de la Tierra, ésta se enfriará. La fricción de las mareas retarda gradualmente la rotación de la Tierra, y así sucesivamente. Incluso el Sol agotará eventualmente su suministro de energía creadora a medida que aumente su entropía. Y la evolución biológica de más de los últimos tres mil millones de años que parece un notable proceso de disminución de entropía, se ha producido a base de un aumento de entropía de todas estas fuentes de energía, y no puede hacer nada para detener el curso de *aquel* aumento.

A la larga, parece que no hay nada que pueda detener el nivel de aumento de entropía o evitar que este llegue al máximo, en cuyo momento se producirá la muerte del Universo por el calor. Y si los seres humanos pudieran escapar de todas las demás catástrofes y de alguna manera seguir existiendo durante billones de años a partir de ahora, ¿no deberán doblegarse a lo inevitable y morir por el calor?

Por todo lo expuesto hasta ahora, así parece.

Movimiento al azar

Sin embargo, hay algo que no encaja en este cuadro del aumento constante en el contenido de entropía del Universo, perceptible cuando miramos hacia atrás en el tiempo.

Puesto que el contenido de entropía del Universo aumenta constantemente, la entropía del Universo debe haber sido inferior hace mil millones de años de lo que es ahora, y todavía menor, hace dos mil millones de años, y así sucesivamente. En algún momento, si retrocedemos el tiempo suficiente, la entropía del Universo debía de ser nula.

Los astrónomos suponen que el Universo debió de comenzar hace aproximadamente unos quince mil millones de años. Según la primera ley de la termodinámica, la energía del Universo es eterna, de modo que, cuando decimos que el Universo comenzó hace quince mil millones de años, no queremos decir que la energía (incluyendo la materia) del Universo fue creada entonces. Había existido siempre. Todo lo que podemos decir es que hace quince mil millones de años que el reloj de entropía comenzó su marcha y su desgaste.

Pero, en primer lugar, ¿qué fue lo que impulsó el inicio de su marcha?

Para responder a esta pregunta, volvamos a los dos ejemplos de aumento de entropía espontánea, el agua que circula de un depósito lleno a un depósito casi vacío, y el calor que fluye de un cuerpo caliente a un cuerpo frío. Daba a entender que ambos eran estrictamente iguales. El calor es tan fluido como el agua y se comporta exactamente de la misma manera. Sin embargo, hay algunos problemas en esa analogía. Después de todo, es fácil comprender el comportamiento del agua de los dos depósitos. La gravedad tira de ella. El agua, respondiendo a un impulso gravitacional de desnivel entre los dos depósitos, circula del depósito lleno al casi vacío. Cuando el agua de ambos depósitos ha llegado a un mismo nivel, el impulso gravitacional en ambos es también igual, y el movimiento cesa. Pero, ¿qué es lo que, análogamente a la gravedad, impulsa al calor y lo lleva de un cuerpo caliente a un cuerpo frío? Antes de dar una respuesta a la cuestión, debemos preguntarnos: ¿qué es el calor?

En el siglo XVIII se creía que el calor era un fluido como el agua, pero mucho más etéreo, y, por tanto, capaz de filtrarse hacia dentro y hacia fuera por los intersticios de los objetos aparentemente sólidos, del mismo modo que el agua puede ser absorbida y escurrida por una esponja.

Sin embargo, en 1798, el físico británico, nacido en Norteamérica, Benjamín Thompson, Conde de Rumford (1753-1814), estudió la producción del calor por la fricción al ser agujereado un cilindro hueco, y sugirió que el calor era esencialmente el movimiento de pequeñísimas partículas de materia. En 1803, el químico inglés John Dalton (1766-1844) tuvo éxito con la teoría atómica de la materia. Toda la materia estaba compuesta por átomos, dijo. Desde el punto de vista de Rumford, pudiera ser que el movimiento de estos átomos

representara el calor.

Hacia 1860, el matemático escocés James Clerk Maxwell (1831-1879) descubrió la «teoría dinámica de los gases» enseñando cómo interpretar su comportamiento en términos de los átomos o las moléculas (1) que los componían. Demostró que esas pequeñas partículas, moviéndose al azar, y chocando entre sí y contra las paredes del depósito que las contenía, siempre al azar, podrían justificar las normas que regulan el comportamiento del gas que se había estado investigando durante los dos siglos anteriores.

En cualquier clase de gas, los átomos o moléculas constituyentes se mueven en un amplio campo de velocidades. Sin embargo, la velocidad media es superior en los gases calientes que en los fríos. De hecho, lo que nosotros llamamos temperatura equivale a la velocidad media de las partículas que constituyen un gas. (Por extensión, esto es válido también para líquidos y sólidos, excepto que, en los líquidos y los sólidos, las partículas constituyentes vibran en vez de moverse corporalmente.)

Con el intento de simplificar el argumento que sigue, supongamos que todas las partículas que componen una materia cualquiera a una determinada temperatura se mueven (o vibran) a la velocidad media característica de aquella temperatura.

Imaginemos un cuerpo caliente (gaseoso, líquido o sólido) puesto en contacto con un cuerpo frío. Las partículas al borde del cuerpo caliente chocarán con aquellas al borde del cuerpo frío. Una partícula rápida del cuerpo caliente chocará con una partícula lenta del cuerpo frío, y las dos rebotarán. El *momentum* total de las dos partículas sigue siendo el mismo, pero puede existir una transferencia de *momentum* de un cuerpo al otro. En otras palabras, las dos partículas pueden separarse, quedando con una velocidad diferente a la que llevaban al encontrarse.

Es posible que la partícula rápida ceda algo de su *momentum* la partícula lenta, de modo que la partícula rápida se moverá, después del rebote, con más lentitud, mientras que la lenta después del rebote se moverá con más rapidez. También es posible que la partícula lenta rebote más lentamente todavía, y que la partícula rápida lo haga con más rapidez.

Es tan sólo la casualidad la que determina en qué dirección se realizará la transferencia del *momentum,* pero lo más probable es que el *momentum* se transferirá de la partícula rápida a la lenta, que la partícula rápida rebotará más lentamente y que la partícula lenta lo hará con más rapidez.

¿Por qué? Porque el número de posibilidades de que la transferencia del *momentum* de la partícula rápida pase a la lenta, es mucho mayor que la cifra de posibilidades para que el *momentum* pueda transferirse de la partícula lenta a la más rápida. Si todas las diferentes situaciones tienen la misma probabilidad, en tal caso habrá mayor oportunidad de rápido a lento, que entre las pocas posibilidades de lento a rápido.

Para apreciar con más claridad el razonamiento, imaginemos cincuenta fichas de póquer en un recipiente, todas iguales, numeradas del uno al cincuenta. Tomemos una al azar e imaginemos que hemos sacado el cuarenta y nueve. Es un número alto y representa una partícula de movimiento rápido. Pongamos la ficha cuarenta y nueve en el recipiente (eso representa la colisión) y escojamos otra ficha numerada. Esto representa la velocidad en el rebote. Se podría escoger nuevamente el cuarenta y nueve y rebotar a la misma velocidad a que se había chocado. O se podría elegir el cincuenta y rebotar más rápidamente todavía de lo que se había chocado. *O* se podría escoger cualquier número, del uno al cuarenta y ocho, cuarenta y ocho números en donde elegir, y en cada caso rebotar más lentamente de lo que se había chocado.

Habiéndose escogido el cuarenta y nueve para empezar, la oportunidad de rebotar a una mayor velocidad queda reducida a un número entre cincuenta. La oportunidad de rebotar más lentamente es de cuarenta y ocho entre cincuenta.

La situación sería a la inversa si se hubiera elegido la ficha número dos para empezar. Esto representaría una velocidad muy lenta. Si se la devolvía al grupo y se escogía de nuevo, únicamente se dispondría de una oportunidad entre cincuenta para escoger un uno y rebotar

todavía más lentamente de lo que se había chocado, mientras que habría cuarenta y ocho oportunidades entre cincuenta para elegir cualquier número, del tres al cincuenta, y rebotar más rápidamente de lo que se había chocado.

Si imagináramos diez personas cada una de ellas escogiendo la ficha número cuarenta y nueve de otro recipiente, y arrojándola dentro otra vez para probar suerte de nuevo, la oportunidad de que cada una de ellas recogiera el cincuenta y de que cada una de ellas rebotara más rápidamente de lo que habían chocado, estaría en la proporción de uno aproximadamente en cien mil millones. Las oportunidades serían de dos entre tres, por otra parte, de que cada persona de esas diez tuviera un rebote de una velocidad más lenta.

Sucedería lo mismo, a la inversa, si imagináramos a diez personas, cada una de ellas seleccionando el número dos e intentándolo de nuevo.

No todas esas personas han de elegir el mismo número. Supongamos que un buen número de ellas escogen fichas y sacan muy diversos números, pero de promedio bastante alto. Si lo intentan de nuevo, es muy probable que el promedio sea menor, y no mayor. Cuantas más personas haya, tanto más probable es que el promedio sea menor.

Lo mismo sucede si muchas personas escogen fichas y se encuentran con un promedio de valor muy bajo. Lo más probable es que la segunda oportunidad del promedio se eleve. Cuantas más personas haya, tanto más probable es que el promedio se eleve.

En cualquier cuerpo lo suficientemente grande para ser experimentado en un laboratorio, el número de átomos o moléculas involucrados no es de diez ni cincuenta, ni tan siquiera de un millón: es de miles de billones. Si estas cifras inconmensurables de partículas de un cuerpo caliente tienen una velocidad media muy alta, y los miles de billones de partículas de un cuerpo frío tienen una velocidad media baja, es enorme la cifra de probabilidades de que las colisiones al azar entre todas ellas reduzcan el promedio de las velocidades de las partículas del cuerpo caliente y aumenten el promedio de las del cuerpo frío.

En el momento en que en las partículas de ambos cuerpos se haya logrado una velocidad media igual, el *momentum* puede transferirse igualmente en una o en otra dirección. Las partículas individuales pueden ir ahora más aprisa y después más despacio, pero el promedio de velocidad (y, por consiguiente, la temperatura), permanecerá siempre igual.

Esto responde a nuestra pregunta de por qué el calor fluye de un cuerpo caliente a otro frío y por qué ambos llegan al mismo promedio de temperatura y la mantienen. Se trata, simplemente, de una cuestión de las leyes de probabilidades, la característica natural de la suerte ciega.

De hecho, por esto la entropía del universo aumenta continuamente. Existen tantas, tantísimas maneras de producirse cambios niveladores de la distribución de la energía, en cifra muy superior a los cambios que la hacen todavía más desigual, que las probabilidades de que los cambios se produzcan incrementando la entropía simplemente a través de la suerte ciega está a un nivel increíblemente elevado.

En otras palabras, la segunda ley de la termodinámica no describe lo que *ha de* suceder, sino tan sólo lo que es *predominantemente probable* que suceda. Hay una importante diferencia. Si la entropía *debe* incrementarse, en ese caso *nunca* podría disminuir. Si la entropía es preponderantemente probable que aumente, resulta también improbable que disminuya, pero, eventualmente, si esperamos el tiempo suficiente, hasta esa preponderancia improbable puede desaparecer. De hecho, si esperamos el tiempo suficiente, *debe* desaparecer.

Imaginemos el universo en un estado de muerte por el calor. Podríamos imaginarlo como un vasto mar de partículas tridimensional quizá sin límites, en un perpetuo juego de colisión y rebote, con partículas individuales moviéndose con más rapidez o mayor lentitud, pero permaneciendo siempre igual el promedio.

De vez en cuando, un pequeño grupo de partículas vecinas desarrolla un promedio de velocidad bastante alto entre ellas, mientras otro grupo, un poco alejado, desarrolla un promedio de velocidad bastante bajo. El promedio de todo el universo no cambia, pero ahora

tenemos un grupo de entropía baja y se hace posible un pequeño esfuerzo de trabajo hasta que el grupo se equilibra, lo cual ocurre tras un tiempo determinado.

De vez en cuando en un período más largo, hay una mayor desigualdad producida por esas colisiones al azar, y de nuevo, en un período más largo, una mayor desigualdad. Podríamos imaginar que de vez en cuando, en un billón de billones de billones de años, se produce un desequilibrio tan enorme, que existe un grupo del tamaño de un universo con una entropía muy baja. Equilibrar un grupo del tamaño de un universo de entropía baja debe requerir mucho tiempo; un período de tiempo muy largo... billones de años, o más.

Es posible que esto es lo que nos haya sucedido. En el mar infinito de la muerte por el calor, un universo de baja entropía se encontró existiendo súbitamente y a través de los oficios de la suerte ciega y en el proceso de aumentar su entropía y nivelarse otra vez, se diferenció en galaxias, estrellas y planetas, creando vida e inteligencia, y aquí estamos nosotros, reflexionando sobre todo ello.

Siendo así, a la catástrofe final de muerte por el calor podría, después de todo, suceder la regeneración, tal como sucedía en las violentas catástrofes descritas en el Apocalipsis y en el Ragnarok.

Ya que la primera ley de la termodinámica parece ser absoluta, y la segunda ley de la termodinámica únicamente estadística, queda la probabilidad de una sucesión infinita de universos, separados cada uno de ellos por inimaginables eones de tiempos, excepto que no habrá nadie ni nada para medir ese tiempo, ni medio alguno, no existiendo un aumento de entropía, para medir ni tan siquiera si existieron instrumentos y mentes investigadoras. Por tanto, podríamos decir que la infinita sucesión de universos estaba separada por unos intervalos sin tiempo.

¿Y de qué modo afecta esto la narrativa de la historia humana?

Supongamos que los seres humanos han sobrevivido de algún modo todas las otras catástrofes y de que nuestra especie está viva todavía dentro de billones de años cuando la muerte por el calor se imponga en el universo. La proporción del aumento de entropía desciende continuamente al acercarse esa muerte por el calor y algunos trozos de baja entropía comparativamente (trozos que son de volumen muy pequeño en comparación con el universo, pero muy grandes en la escala humana) se demorarán en algunos lugares.

Considerando que la tecnología humana habrá avanzado más o menos continuamente durante más de un billón de años, los seres humanos seguramente podrían aprovecharse de estos pedazos de entropía baja, descubriéndolos y explotándolos de la misma manera que ahora explotamos las minas de oro. Esos pedazos seguirían descendiendo, sosteniendo a la Humanidad durante el proceso, durante miles de millones de años. Los seres humanos podrían descubrir, quizá, nuevos fragmentos de entropía baja al formarse por azar en el mar de la muerte por el calor, y explotar también esos fragmentos, y de este modo continuar existiendo indefinidamente, aunque en condiciones reducidas. Por último, entonces, la suerte proporcionará un fragmento de entropía baja del tamaño de un universo y los seres humanos podrán renovar una expansión relativamente ilimitada.

Para llegar al último extremo, los seres humanos pueden hacer lo que describía en mi relato de ciencia ficción *The Last Question* (La Última Pregunta), publicado por vez primera en 1956, procurando descubrir métodos que les permitieran introducir una disminución masiva de entropía, evitando así la muerte por el calor, o renovando deliberadamente el universo si la muerte por el calor ya estaba imponiéndose. De este modo, la Humanidad podría convertirse esencialmente en inmortal.

Sin embargo, la cuestión es que los humanos sigan existiendo en el momento en que la muerte por el calor se convierta en un problema, o en si alguna catástrofe anterior de otro tipo nos habrá hecho desaparecer ya del Globo.

Ésta es la pregunta a la que el resto del libro tratará de responder.

Capítulo III

EL CIERRE DEL UNIVERSO

Las galaxias

Hasta aquí hemos venido exponiendo la manera en que debería comportarse el universo, al parecer, de acuerdo con las leyes de la termodinámica. Ha llegado el momento en que echemos una ojeada al propio universo a fin de comprobar si ese examen nos da motivo para modificar nuestras conclusiones. Para hacerlo, retrocedamos e intentemos examinar el contenido del universo, considerado generalmente como un todo; algo que sólo hemos podido hacer en el siglo XX.

Durante toda la historia anterior, nuestras perspectivas quedaron limitadas a lo que podíamos ver del universo, que resultó ser muy poco. Al principio, el universo era simplemente un pequeño pedazo de la superficie de la Tierra sobre el que el cielo y su contenido resultaba meramente una bóveda.

Fueron los griegos los que primero reconocieron que la Tierra era una esfera y quienes incluso tuvieron una idea de su auténtico tamaño. Descubrieron también que la Luna, el Sol y los planetas se movían en el cielo independientemente unos de otros y los representaron con una esfera transparente. Las estrellas estaban agrupadas en una esfera única más exterior y se consideraban sencillamente como de fondo. Incluso después que Copérnico enviara a la Tierra a girar alrededor del Sol y la invención del telescopio revelara detalles interesantes respecto a los planetas, los seres humanos no adquirieron conciencia del universo más allá realmente del Sistema Solar. Aún en la época avanzada del siglo XVIII, las estrellas seguían siendo poco más que telón de fondo. En 1838, el astrónomo alemán Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) determinó la distancia de una estrella y a partir de entonces la escala de distancias interestelares quedó establecida.

La luz viaja a una velocidad de cerca de 300.000 kilómetros (186.000 millas) por segundo, y por tanto, la luz viajará en un año 9,44 billones de kilómetros (5,88 billones de millas). Esa distancia corresponde a un año-luz y hasta la estrella más cercana está a 4,4 años de distancia. La distancia promedio entre las estrellas más próximas a nosotros en el universo es de 7,6 años-luz.

Las estrellas no se hallan dispersas en el universo simétricamente en todas direcciones. Observamos en el cielo una franja circular con tantas estrellas, que llegan a fundirse formando una nebulosa de suave luminosidad, llamada Vía Láctea. En otras zonas del cielo hay, en comparación, pocas estrellas.

En el siglo XIX resultó evidente que las estrellas tenían forma de lente, mucho más ancha que gruesa, y más gruesa en el centro que en los bordes. Ahora sabemos que la agrupación de estrellas con forma de lente está a 100.000 años-luz en su dimensión más ancha y que posiblemente alcanza la cifra de doscientos mil millones de estrellas, con una masa promedio de quizá la mitad de la de nuestro Sol. Esta agrupación se denomina «Galaxia», derivado de la expresión griega para «Vía Láctea».

Durante todo el siglo XIX se creyó que la Galaxia era todo lo que había en el universo. Aparte de las nubes de Magallanes, en el cielo no se apreciaba nada más con claridad. Las nubes de Magallanes eran visibles en el hemisferio Sur (e invisibles desde la zona templada del Norte) y parecían fragmentos desprendidos de la Vía Láctea. Resultaron ser pequeñas concentraciones de estrellas de unos pocos miles de millones en cada una de ellas, situadas cerca de la Galaxia; podríamos considerarlas como pequeñas galaxias satélite de la Galaxia.

Otro objeto sospechoso fue la nebulosa de Andrómeda, que a simple vista se ve como algo difuso y deshilachado. Algunos astrónomos creyeron que sólo se trataba de una nube brillante de gas que formaba parte de nuestro propia Galaxia, pero, si era así, ¿por qué no había estrellas visibles en su interior que era el origen de su brillo? (Las estrellas resultaban

visibles en el caso de otras nubes gaseosas brillantes de la Galaxia.) Además, la naturaleza de su luminosidad parecía ser estelar y no gaseosa. Por último, aparecían en ella novas (estrellas de súbito resplandor) con extraordinaria frecuencia, novas que no hubieran sido visibles con su brillo normal.

Existían buenas razones para argumentar que la nebulosa Andrómeda era, en realidad, una concentración de estrellas tan grandes como la Galaxia, que se hallaba a una distancia tan considerable que no era posible distinguir ninguna estrella individual, excepto cuando, ocasionalmente, una de sus estrellas, centelleando por algún motivo determinado, adquiriera la suficiente luminosidad para ser vista. El más ferviente defensor de esta teoría fue el astrónomo norteamericano Heber Doust Curtis (1872-1942), quien realizó un estudio especial de las novas de la nebulosa de Andrómeda, en 1917 y en 1918.

Entretanto, en 1917, se instaló en el Monte Wilson, cerca de Pasadena, California, un nuevo telescopio con un espejo de 2,54 metros de diámetro (el mayor y el mejor que se había visto hasta aquel entonces). Utilizando este telescopio, el astrónomo americano Edwin Powell Hubble (1889-1953) consiguió finalmente separar las estrellas individuales en la periferia de la nebulosa de Andrómeda. Definitivamente se trataba de una agrupación de estrellas de la medida de nuestra Galaxia y desde entonces fue conocida como la galaxia de Andrómeda.

Ahora sabemos que la galaxia de Andrómeda se halla a 2,3 millones de años luz de nosotros y que existen innumerables galaxias que se extienden en todas direcciones a una distancia de diez mil millones de años luz y más. Por tanto, si conceptuamos el universo como un todo, debemos considerarlo como una gran agrupación de galaxias distribuidas en el espacio con bastante regularidad, cada una de las cuales contiene un número de estrellas que oscila de unos pocos miles de millones a varios billones.

Las estrellas que forman una galaxia se mantienen unidas por su impulso gravitacional mutuo y todas las galaxias giran a medida que las diversas estrellas se mueven en órbita alrededor del centro galáctico. Gracias a la gravedad, las galaxias pueden permanecer intactas y conservar su identidad durante muchos miles de millones de años.

Además, es corriente que las galaxias cercanas formen grupos o nidos en los que todas se hallan confinadas por su impulso gravitacional mutuo. Por ejemplo, nuestra propia galaxia, la galaxia de Andrómeda, las dos nubes de Magallanes y más de otras veinte galaxias (la mayor parte de ellas muy pequeñas) forman el «grupo local». Entre los otros grupos galácticos que podemos ver en el cielo, algunos son más enormes. Hay un grupo en la constelación Cabellera de Berenice, a una distancia aproximada de 250 millones de años luz, que está formada aproximadamente por unas diez mil galaxias individuales.

Es muy posible que el Universo esté formado por miles de millones aproximadamente de grupos galácticos, cada uno de ellos con un promedio de un centenar de miembros.

La expansión del universo

Aunque las galaxias se hallan a enormes distancias, podemos aprender algunas cosas interesantes sobre ellas por medio de la luz que nos llega.

Las longitudes de onda afectan nuestra visión de modo que quedan traducidas a colores. La luz visible de la longitud de onda más corta aparece como violeta. A medida que las longitudes se alargan, vemos por turno el azul, el verde, el amarillo, el naranja y el rojo. Éste es el conocido arco iris, ya que, en realidad, el arco iris que vemos en el cielo después de haber llovido es un espectro natural.

Hay instrumentos que pueden clasificar estas longitudes de onda ordenadamente en bandas alargadas, de la más corta a la más larga. Estas bandas se llaman espectros (*Espectro, análisis espectral*.).

Cuando la luz del Sol o de las otras estrellas queda dispersa en el espectro, desaparecen algunas de las longitudes de onda de luz, pues han sido absorbidas en su camino

por los gases relativamente fríos de la atmósfera superior del Sol (o de otras estrellas). Estas longitudes de onda que faltan quedan en forma de líneas oscuras que cruzan las diversas bandas de colores del espectro.

Los diversos tipos de átomos de la atmósfera de una estrella absorben las longitudes de onda de una manera exclusivamente característica. En el laboratorio, se pueden localizar en el espectro las longitudes de onda características para cada tipo de átomo, y, a partir de las líneas oscuras del espectro de cualquier estrella, se puede obtener información sobre la composición química de esa estrella.

Ya en 1842, el físico austríaco Christian Johann Doppler (1803-1833) demostró que cuando un cuerpo emite sonido de una longitud de onda determinada, esa longitud de onda aumenta si el cuerpo está alejándose de nosotros al emitir el sonido, y disminuye si el cuerpo se mueve en nuestra dirección. En 1848, el físico francés Armand H. L. Fizeau (1819-1896) aplicó este principio a la luz.

Según este efecto llamado de Doppler-Fizeau, todas las longitudes de onda de la luz irradiadas por una estrella que está alejándose de nosotros son más largas que si estuvieran irradiadas por un objeto inmóvil Esto incluye especialmente las líneas oscuras que se desplazan hacia el extremo del color rojo del espectro (el «desplazamiento hacia el rojo») en comparación con el lugar en donde se hallarían normalmente. En el caso de una estrella que se mueve hacia nosotros, las longitudes de onda, incluyendo las líneas oscuras, se desplazan hacia el extremo violeta del espectro.

Al determinar la posición de las líneas oscuras en el espectro de una determinada estrella, se puede deducir si esa estrella está alejándose o acercándose a nosotros, y, además, a qué velocidad media, puesto que, a mayor velocidad de la estrella en su acercamiento o alejamiento, corresponderá un desplazamiento superior de las líneas oscuras. Este desplazamiento fue utilizado por vez primera en 1868, cuando el astrónomo inglés William Huggins (1824-1910) observó un desplazamiento rojo en el espectro de la estrella Sirio y comprobó que estaba alejándose de nosotros a una velocidad moderada. A medida que se investigó más sobre las estrellas al respecto, se descubrió, sin sorpresa, que algunas se acercaban y otras se alejaban de nosotros, como era de esperar, si la Galaxia, como conjunto, permanecía estacionaria sin acercarse ni alejarse de nosotros.

En 1912, el astrónomo americano Vesto Melvin Slipher (1875-1969) inició un proyecto para determinar el desplazamiento de la línea oscura de las diversas galaxias (antes incluso de que los pequeños fragmentos de luz nebulosa hubieran sido reconocidos como galaxias).

Se podría suponer que también las galaxias mostrarían retrocesos y acercamientos, como hacen las estrellas; así sucede, en efecto, en las galaxias de nuestro grupo local. Por ejemplo, la primera galaxia que Slipher estudió fue la de Andrómeda, que resultó estar aproximándose a nuestra galaxia a una velocidad de unos 50 kilómetros (32 millas) por segundo.

Sin embargo, las galaxias fuera de nuestro grupo local mostraron una sorprendente uniformidad. Slipher y los que le siguieron descubrieron que, en todos los casos, la luz procedente de esas galaxias mostraba un desplazamiento hacia el rojo. Todas ellas estaban alejándose de nosotros a unas velocidades anormalmente altas. Mientras que las estrellas de nuestra galaxia se movían a velocidades de algunas decenas de kilómetros por segundo relativamente de una a otra, las galaxias fuera de nuestro grupo local, aun las más cercanas, se alejaban de nosotros a velocidades de varios cientos de kilómetros por segundo. Además, cuanto más débil era la galaxia (y, por consiguiente, más distante) tanto mas rápidamente se alejaba.

En 1929, Hubble, que tres años antes había descubierto estrellas en la galaxia de Andrómeda y establecido su naturaleza, pudo demostrar que la velocidad de retroceso era proporcional a la distancia. Si la galaxia A estaba tres veces más lejos de nosotros que la galaxia B, la galaxia A se alejaba de nosotros a una velocidad tres veces superior a la de la

galaxia B. Cuando esto fue aceptado, se pudo determinar la distancia de una galaxia simplemente midiendo su desplazamiento en el espectro hacia el rojo.

Pero, ¿por qué todas las galaxias deberían alejarse de nosotros?

Para explicar este alejamiento universal sin atribuirnos una especial cualidad, era necesario aceptar el hecho de que el universo se expandía y de que la distancia entre todos los grupos galácticos vecinos aumentaba continuamente. Y siendo así, desde cualquier puesto de observación dentro de *cualquier* grupo galáctico, y no únicamente desde el nuestro, todos los otros grupos galácticos parecerían retroceder a un promedio que aumentaba constantemente con la distancia.

Pero, ¿por qué debería estar en expansión el universo?

Si imaginamos que el tiempo retrocede (es decir, supongamos que hemos rodado una película del universo en expansión y después pasamos la película al revés), los grupos galácticos parecerían estar acercándose unos a otros y, eventualmente, llegarían a chocar.

El astrónomo belga Georges Lemaitre (1894-1966) sugirió, en 1927, que en algún momento lejano del tiempo pasado, toda la materia del universo sufrió una compresión y se convirtió en un objeto único que él denominó «huevo cósmico». Este objeto estalló y, con los fragmentos de la explosión, se formaron galaxias. El universo sigue en expansión a causa de la fuerza de esa vieja explosión.

El físico ruso-americano George Gamov (1904-68) llamó a esta explosión primordial, el *big bang* (1), y ésa es la palabra que se sigue utilizando para reconocerle. Es el *big bang* que los astrónomos ahora creen tuvo lugar hace unos quince mil millones de años. La entropía del huevo cósmico era muy baja y desde el momento del *big bang* dicha entropía ha estado aumentando y el universo se ha estado desgastando según se ha descrito en el capítulo anterior.

¿Tuvo lugar realmente ese *big bang?*

Cuanto más penetramos en las vastas distancias del universo, tanto más vislumbramos de los tiempos pasados. Después de todo, se requiere luz tiempo para viajar. Si pudiéramos ver algo que estuviera a una distancia de mil millones de años luz, la luz que veríamos habría tardado mil millones de años en llegar hasta nosotros y el objeto que veríamos sería como fue hace mil millones de años. Si pudiéramos ver algo que estuviese a una distancia de quince mil millones de años luz, lo veríamos como era hace quince mil millones de años en el momento del *big bang.*

En 1965, A. A. Penzias y R. W. Wilson, de los Laboratorios Bell Telephone, pudieron demostrar que había un reflejo de ondas de radio que provenían de manera uniforme de todos los lugares del espacio.

Ese fondo ambiental de ondas de radio pudiera ser la radiación del *big bang* que nos llega después de atravesar quince mil millones de años luz en el espacio. Este descubrimiento ha sido aceptado como un testimonio sólido en favor del *big bang.*

¿Continuará para siempre el universo en expansión como resultado de esa enorme explosión primordial? Discutiré esta posibilidad brevemente, pero, por ahora, supongamos que, en efecto, el universo seguirá eternamente en expansión. En este caso, ¿corno nos afectará a nosotros? ¿Representará una catástrofe esa expansión infinita del universo?

Visualmente, por lo menos, no es así. Sin excepción, todo lo que vemos en el espacio a simple vista, incluyendo las nubes de Magallanes y la galaxia de Andrómeda, forman parte del grupo local. Todas las partes del grupo local se mantienen unidas gravitacionalmente y no toman parte en la expansión general.

El resultado es que, aunque el universo continúe para siempre en expansión, nuestra visión de los cielos sin un telescopio no cambiará. Habrá otros cambios por otras razones, pero nuestro grupo local, que contiene más de medio billón de estrellas, en conjunto seguirá igual.

A medida que el universo se extienda, los astrónomos tendrán cada vez mayores dificultades para distinguir las galaxias fuera del grupo local, hasta que acaben perdiéndolas.

Todos los grupos galácticos retrocederán a tal distancia que se alejarán de nosotros a unas velocidades que no podrán afectarnos de ninguna manera. Por tanto, nuestro universo consistirá únicamente del grupo local y será únicamente 1/50 mil millonésima parte tan grande como es ahora.

¿Sería una catástrofe esta gran contracción de nuestro universo? Quizá no lo sería directamente, pero afectaría nuestras posibilidades para intervenir en la muerte por el calor.

Un universo más pequeño tendría menos oportunidad de formar una gran zona de entropía baja, y nunca podría, por procesos casuales, formar el tipo de «huevo cósmico» que dio principio a nuestro universo. No habría suficiente masa para eso. Estableciendo una comparación, habría menos oportunidad de encontrar una mina de oro si caváramos únicamente en el patio posterior de nuestra casa, que si se nos permitiera cavar en toda la superficie de la Tierra.

De esta manera, la expansión indefinida del universo disminuye grandemente la posibilidad de que la especie humana pueda sobrevivir a la muerte por el calor, suponiendo, para empezar, que dure hasta entonces. De hecho, uno se siente sumamente tentado a predecir que no llegará tan lejos; la especie humana difícilmente podría superar la combinación de la expansión infinita y de la muerte por el calor, aunque consideremos los acontecimientos con el mayor optimismo.

Y, además, esto no es todo. ¿Es posible que el retroceso de los grupos galácticos altere las propiedades del universo de tal manera que produzca una catástrofe más inmediata que el fracaso de sobrevivir a la muerte por el calor?

Algunos físicos especulan que la gravitación es el producto de toda la masa del universo trabajando en colaboración y no el simple producto de cuerpos individuales. Cuanto más se concentre la masa total del universo alcanzando un volumen cada vez menor, tanto más intenso será el campo gravitacional producido por cualquier cuerpo determinado. Del mismo modo, cuanto más se dilate la masa y alcance volúmenes cada vez mayores, tanto más débil será la fuerza gravitacional producida por un cuerpo determinado.

Puesto que el universo se dilata, la masa del universo está alcanzando cada vez mayor volumen, y la intensidad de los campos gravitacionales individuales producida por los varios cuerpos del universo debería, según esa teoría, estar disminuyendo constantemente. Esta posibilidad fue sugerida, en primer lugar, en 1937, por el físico inglés Paul A. M. Dirac (1902-).

Esta disminución sería muy lenta, por lo que sus efectos no los notarían los individuos comentes durante muchos millones de años, pero gradualmente los efectos se acumularían. El Sol, por ejemplo, se mantiene unido por su poderoso campo gravitacional. A medida que la fuerza gravitacional se debilitara, el Sol se dilataría lentamente y se enfriaría, y lo mismo sucedería con todas las demás estrellas. El poder del Sol sobre la Tierra disminuiría, y la órbita de la Tierra se desplazaría muy lentamente hacia fuera. La misma Tierra, con su propia gravitación más débil, se dilataría poco a poco, y así sucesivamente. Deberíamos afrontar entonces un futuro en el que la temperatura de la Tierra, gracias al enfriamiento y al Sol más distante, podría descender y congelarnos. Éste y otros efectos podrían conducirnos a un final trágico antes de que pudiéramos alcanzar la muerte por el calor.

Sin embargo, hasta el momento los científicos no han descubierto ningún signo claro de que la gravitación se debilite con el paso del tiempo, o que, en el curso de la pasada historia de la Tierra, hubiera sido más potente.

Quizás es demasiado pronto para hablar de ello, y deberíamos esperar más pruebas antes de estar seguros de esta cuestión, en un sentido o en otro, pero no puedo por menos de creer que el concepto de una debilitación en la fuerza gravitacional es insostenible. De ser esto cierto, y la Tierra se enfriase lentamente en el futuro, por la misma razón debería haber sido más caliente en el pasado, y no hay ninguna prueba de tal cosa. Del mismo modo, también, los campos gravitacionales serían cada vez más fuertes a medida que nos adentráramos, en el pasado, y en el momento del «huevo cósmico» hubiese sido tan potente que creo que el

«huevo cósmico» nunca hubiera podido explotar y arrojar fragmentos hacia el exterior contra el impulso de ese intenso campo gravitacional inimaginable (1).

Por tanto, hasta que se descubra lo contrario, es lógico suponer que la expansión indefinida del universo no afectará las propiedades de nuestra parte del universo. Por consiguiente, no es fácil que la expansión produzca una catástrofe antes del momento en que sería improbable que la Humanidad pudiera sobrevivir a la muerte por el calor.

El universo se contrae

Esperen, de todos modos. ¿Cómo podemos estar seguros de que el universo se dilatará siempre sólo porque está dilatándose ahora?

Supongamos, por ejemplo, que observamos una pelota en movimiento que asciende desde la superficie de la Tierra. Sube continuamente, pero a una velocidad que se reduce sin cesar. Sabemos que, en algún momento, su velocidad ascendente quedará reducida a cero, y entonces comenzará a descender, cada vez más aprisa.

La razón es que la atracción gravitacional de la Tierra hace descender inexorablemente la pelota, primero procurando disminuir su impulso ascensional hasta su total desaparición, y después aumentando continuamente su movimiento de retorno a la Tierra. Si la pelota fuera arrojada hacia arriba con mayor rapidez, la atracción gravitacional tardaría más en contrarrestar ese impulso inicial. La pelota llegaría a una mayor altura antes de detenerse y comenzar a caer.

Por tanto, podríamos creer que, dejando aparte la rapidez con que arrojásemos la pelota hacia arriba, llegaría siempre el momento en que se detendría y regresaría bajo la inexorable atracción de la gravedad. Existe el dicho popular: «Lo que sube, ha de bajar.» Esto sería verdad si la atracción gravitacional fuese constante en todo el camino ascendente, pero no lo es.

La atracción de gravedad de la Tierra disminuye en proporción a la distancia del centro de la Tierra. Un objeto en la superficie de la Tierra está aproximadamente a unos 6.400 kilómetros (4.000 millas) de su centro. Un objeto a una distancia de 6.400 kilómetros por encima de su superficie estaría a doble distancia de su centro, y se hallaría bajo una atracción de gravedad equivalente a una cuarta parte de la que tendría en la superficie.

Un objeto puede ser arrojado hacia el espacio a una velocidad tan grande que, mientras sube, la atracción gravitacional disminuye tan rápidamente que nunca llega a ser lo suficientemente fuerte para reducir esa velocidad a cero. En esas circunstancias, el objeto no baja, sino que se aleja para siempre de la Tierra. La velocidad mínima a que eso sucede es la «velocidad de escape» que para la Tierra es de 11,23 kilómetros (6,98 millas) por segundo.

También podría decirse que el universo tiene una velocidad de escape. Los grupos galácticos se atraen gravitacionalmente, pero, como resultado de la fuerza de la explosión *big bang,* se separan contra la atracción de la gravedad. Esto significa que podemos contar con que el impulso de la gravitación poco a poco disminuirá la expansión y posiblemente, por la fuerza de sus propias atracciones de gravitación, comenzarán a acercarse mutuamente y nos convertiremos en un universo en contracción. Sin embargo, mientras los grupos galácticos se alejan uno de otro, disminuye el impulso gravitacional de cada uno de ellos respecto a sus vecinos. Si la expansión es suficientemente rápida, el impulso disminuye en tal proporción que nunca se conseguirá detener la expansión. El promedio mínimo de expansión que se requiere para impedir el alto, es la velocidad de escape para el universo.

Si los grupos galácticos se separan uno de otro a una velocidad superior a la de escape, continuarán separándose para siempre, y el universo se dilatará perpetuamente hasta llegar a la muerte. Será un «universo abierto» del tipo al que nos referíamos al principio del capítulo. No obstante, si los grupos galácticos se separan a una velocidad inferior a la de escape, la expansión gradualmente llegará a detenerse. Se iniciará entonces una contracción, y el

universo reformará el «huevo cósmico», que explotará en un nuevo *big bang*. Será un «universo cerrado» (conocido algunas veces también como «universo oscilante».)

Por tanto, la cuestión es si el universo está o no dilatándose a un promedio superior a la velocidad de escape. Si conociéramos el promedio de expansión también el valor de la velocidad de escape, tendríamos la respuesta.

La velocidad de escape depende de la atracción gravitacional que los grupos galácticos ejercen uno sobre otro, y esto depende, a su vez, de la masa de grupos individuales galácticos y de la distancia que mantienen entre ellos. Naturalmente, los grupos galácticos se presentan en diferentes tamaños y algunos grupos cercanos están mucho más apartados que otros. Por tanto, lo que podemos hacer es imaginar toda la materia de todos los grupos galácticos esparcida igualmente por el universo. Podríamos determinar entonces la densidad media de la materia en el universo. Cuanto más elevada sea la densidad media de la materia, tanto mayor será la velocidad de escape, y mayor la posibilidad de que los grupos galácticos no se están separando uno de otro con la velocidad suficiente para escapar y de que antes o después la expansión se detendrá y se convertirá en contracción.

Por lo que sabemos hasta el momento, podemos suponer que si la densidad media del universo fuese tal que un volumen igual a una sala de estar espaciosa retuviera suficiente materia para llegar al equivalente de 400 átomos de hidrógeno, esto representaría una densidad suficientemente elevada para conservar el universo cerrado bajo la proporción actual de expansión.

Sin embargo, por lo que sabemos hasta ahora, el promedio actual de densidad del universo sólo alcanza una centésima de esa cantidad. Basándose en cierta evidencia directa, incluyendo la cantidad de deuterio (una variedad pesada del hidrógeno) presente en el universo, la mayoría de los astrónomos están seguros de que la densidad media *no puede* ser mucho más alta que la mencionada. Y si es así, el impulso gravitacional entre grupos galácticos es demasiado pequeño para poder detener la expansión del universo. Por consiguiente, el universo está abierto y la expansión continuará hasta la muerte final por el calor.

Pero no estamos absolutamente seguros de la densidad media del universo. La densidad es igual a la masa por el volumen, y aunque conocemos razonablemente bien el volumen de una determinada porción del universo, no estamos seguros de la masa de esa porción.

Disponemos de medios para calcular las masas de las galaxias por sí mismas, pero no podemos calcular con la misma seguridad la delgada masa dispersa de estrellas, polvo y gas que a lo lejos circunda las galaxias y la que está entre ellas. Es posible que estemos subestimando grandemente la masa de este material no galáctico.

En 1977, los astrónomos de Harvard que estudiaban los rayos del espacio, informaron que habían hallado indicios de que algunos grupos galácticos estaban rodeados por halos de estrellas y polvo que poseían de cinco a diez veces la masa de las propias galaxias. Esos halos, si eran corrientes, representarían una suma sustancial a la masa del universo y dejarían como bastante insegura la posibilidad de un universo abierto.

Las propias galaxias nos proporcionan un indicio para considerar en serio la posibilidad de una masa mucho más elevada en el universo.

En muchos casos, cuando la masa de los grupos galácticos se calcula sobre la base de las masas de las galaxias componentes, resulta que existe una interacción gravitacional general insuficientemente elevada para mantener unido el grupo. Las galaxias individuales deberían separarse y dispersarse, pues se mueven a unas velocidades superiores a la velocidad de escape aparente en el grupo. Y, sin embargo, esos grupos galácticos parecen unidos gravitacionalmente. La conclusión natural es que los astrónomos están subestimando la masa total de los grupos; de que existe masa además de la propia de las galaxias con la que no cuenta.

En resumen, aunque el peso de la evidencia continúe hablando en favor de un universo

abierto, de algún modo disminuyen las posibilidades. Y se acentúa la posibilidad de que hay suficiente masa en el universo para convertirlo en cerrado y oscilante, mientras, pequeño todavía, está creciendo (1).

Sin embargo, ¿tiene sentido un universo en contracción? Acercaría cada vez más las galaxias y al final reformaría la baja entropía del «huevo cósmico». ¿No significa esto que un universo contrayéndose desafía la segunda ley de la termodinámica? En efecto, la contradice, pero hemos de considerar esto necesariamente como un desafío.

La segunda ley de la termodinámica es, según ya he expuesto con anterioridad, simplemente una generalización de una experiencia común. Al estudiar el universo en toda clase de condiciones, observamos que la segunda ley nunca parece quebrantarse, y de eso deducimos que no puede transgredirse.

Esta conclusión puede ir demasiado lejos. Después de todo, sin importar las condiciones del experimento y los lugares que observamos, hay algo que no podemos modificar. Todas las observaciones que hacemos, ya sean de la propia Tierra o de la galaxia más lejana que podamos descubrir, y todas las condiciones de experimentación que podamos imaginar, todas, sin excepción, tienen lugar en un universo en expansión. Por tanto, la aseveración más general que podemos hacer es que la segunda ley de la termodinámica nunca puede quebrantarse en un universo en expansión.

Basándonos en nuestras observaciones y experimentos, no podemos decir absolutamente nada respecto a la relación entre la entropía y un universo en contracción. Tenemos entera libertad para suponer que, al mismo tiempo que la expansión del universo disminuye, el impulso para incrementar la entropía se hace menos apremiante; y que al mismo tiempo que comienza la compresión del universo, el impulso para disminuir la entropía comienza a hacerse perentorio.

Por consiguiente, podríamos suponer que, en un universo cerrado, la entropía se incrementaría normalmente, pero durante el período de expansión, y es muy probable que, antes de que se llegara al período de la muerte por el calor, habría un cambio inverso y la entropía disminuiría durante el período de contracción. El universo, como un reloj cuidadosamente atendido, remontaría la cuerda antes de que se le terminara totalmente, y de esta manera, juzgando por lo que nosotros sabemos, podría seguir por tiempo indefinido. En este caso, ya que el universo continúa cíclicamente, para siempre, sin producirse la muerte por el calor, ¿podemos estar seguros de que la vida continuará también eternamente? ¿No podrían existir algunos períodos durante el ciclo en los cuales no fuese posible la vida?

Por ejemplo, parece inevitable que la explosión del «huevo cósmico» es, probablemente, una condición opuesta a la vida. Todo el universo (que consiste únicamente en el «huevo cósmico») está, en el momento de la explosión, a una temperatura de muchos billones de grados y no será hasta haber transcurrido algún tiempo después de la explosión que las temperaturas se habrán enfriado suficientemente para que se forme la masa y se convierta en galaxias, para que se formen los sistemas planetarios y para que la vida se desenvuelva en los planetas apropiados.

Es posible que tengan que transcurrir mil millones de años aproximadamente después del *big bang* antes de que puedan existir en el universo las galaxias, las estrellas, los planetas y la vida. Suponiendo que la contracción repitiera la historia del universo al revés, deberíamos suponer que durante mil millones de años antes de la formación del «huevo cósmico», serían imposibles la vida, los planetas, las estrellas y las galaxias. Por tanto, queda en cada ciclo un período de dos mil millones de años centrados alrededor del «huevo cósmico», durante el cual la vida es imposible. En cada ciclo después de este período, puede formarse nueva vida, pero no mantendrá ninguna conexión con la vida del ciclo anterior y terminará antes del siguiente «huevo cósmico» y no guardará ninguna conexión con la vida del ciclo posterior.

Reflexionemos: En el universo no puede haber mucho menos de un billón de estrellas. Todas están vertiendo energía en el universo incesantemente, y así lo han estado haciendo durante quince mil millones de años. ¿Por qué toda esta energía no ha servido para calentar

los cuerpos fríos del universo, tales como planetas semejantes a nuestra Tierra, hasta llegar a un calor abrasador que haría imposible la vida?

Hay dos razones para que esto no suceda. En primer lugar, todos los grupos galácticos se están separando en un universo en expansión. Esto significa que la luz que llega a alguno de los grupos galácticos desde todos los demás, sufre desplazamientos hacia el rojo en diferentes grados. Puesto que cuanto mayor es la longitud de onda, tanto menor es el contenido de energía de la luz, el desplazamiento hacia el rojo significa una disminución de energía. Por tanto, la radiación emitida por todas las galaxias es menos energética de lo que se podría suponer.

En segundo lugar, el espacio disponible dentro del universo aumenta rápidamente al dilatarse. De hecho, el espacio está haciéndose más voluminoso con una rapidez superior a la necesaria para que pueda llenarlo la energía que se está vertiendo dentro de él. Por consiguiente, en lugar de calentarse, el universo ha estado constantemente bajando su temperatura desde el *big bang* y ahora se halla a una temperatura general únicamente de unos 3° por encima del cero absoluto.

Naturalmente, la situación se invertiría por completo en un universo en contracción. Todos los grupos galácticos se acercarían y eso significaría que la luz que llegara a cualquier grupo galáctico procedente de todos los demás sufriría desplazamientos al violeta de diversos grados y sería mucho más energético de lo que es ahora. El espacio disponible dentro del universo disminuiría también rápidamente, de modo que la radiación lo llenaría mucho más pronto de lo que podría esperarse. Por tanto, un universo en contracción aumentaría su calor constantemente y, según ya he dicho, mil millones de años con anterioridad a la formación del huevo cósmico sería demasiado caliente para que pudiera existir en él algo semejante a la vida.

¿Cuánto tiempo transcurrirá antes del próximo «huevo cósmico»?

Esto es imposible de predecir. Depende, según se ha dicho, de la masa total del universo. Supongamos que la masa es suficientemente grande para garantizar un universo cerrado. Cuanto mayor sea la masa más allá del mínimo requerido, tanto más fuerte será el campo gravitacional general del universo y tanto más rápidamente la presente expansión se detendrá y se contraerá para formar otro «huevo cósmico».

Sin embargo, dado que es tan pequeña la cifra presente para la masa total, es probable que si puede elevarse lo suficiente para asegurar un Universo cerrado, seguramente podrá aumentar *apenas* justo lo suficiente. Esto significa que la proporción de expansión disminuirá tan sólo con el tiempo de forma muy gradual y cuando ya casi se haya detenido, los últimos sedimentos desaparecerán con gran lentitud bajo el impulso del campo gravitacional que será apenas lo bastante grande para hacer el trabajo, y el Universo comenzará entonces a contraerse con una prolongada lentitud.

Estamos viviendo ahora un período relativamente corto de expansión rápida y algún día se producirá un período un tanto breve de contracción rápida, cada uno de ellos con una duración de sólo unas pocas docenas de miles de millones de años. Entre ambos períodos existirá un largo período con un Universo virtualmente estático.

Podríamos suponer, como mera conjetura, que el Universo se detendrá a medio camino de la muerte por el calor, digamos después de medio billón de años, y que entonces seguirá otro período igual antes del siguiente «huevo cósmico». En ese caso, la especie humana puede escoger entre esperar un billón de años la muerte por el calor, si el Universo está abierto, o un billón de años para el siguiente «huevo cósmico», si el Universo está cerrado.

Ambas catástrofes parecen definitivas, pero de las dos, la del «huevo cósmico» es la más altisonante, más violenta, más al estilo Apocalipsis-Ragnarok y la que es más difícil de evitar. La especie humana seguramente preferiría la primera, pero sospecho que la que conseguirá, siempre suponiendo que viva lo suficiente para conseguir alguna de las dos, es la última (1).

Capítulo IV

EL HUNDIMIENTO DE LAS ESTRELLAS

Gravitación

Al examinar la alternativa de las catástrofes de muerte por el calor o la del «huevo cósmico», hemos estado considerando el Universo como un todo y lo hemos tratado como si fuese una especie de mar de una materia delgada, más o menos lisa, cuyo conjunto está aumentando su entropía y dilatándose hacia una muerte por el calor, o, por el contrario, estaba perdiendo entropía y contrayéndose derivando hacia un «huevo cósmico». Hemos supuesto que todas sus partes sufrían idéntico destino del mismo modo y al mismo tiempo.

Sin embargo, el hecho es que el Universo no es absolutamente liso a menos que se observe desde una enorme distancia y de un modo general. Visto de cerca y en detalle resulta en verdad muy protuberante.

Para empezar, contiene *por lo menos* diez mil millones de billones de estrellas, y las condiciones de o cerca de una estrella son enormemente diferentes de las condiciones reinantes lejos de ella. Y lo que es más, en algunos lugares las estrellas están muy aglomeradas, mientras que en otros su número es escaso y en otros lugares están virtualmente ausentes. Por tanto, es perfectamente posible que lo que sucede en una parte del Universo sea muy diferente de lo que ocurre en otra parte, y que, aunque el Universo considerado como un todo está en expansión, parte de este todo se esté contrayendo. Hemos de considerar esta posibilidad, ya que es posible que esta diferencia en comportamiento nos lleve a otra clase de catástrofe.

Empecemos por examinar la Tierra que ha sido formada aproximadamente por unos seis cuatrillones de kilogramos de roca y metal. La naturaleza de su formación fue determinada, en gran parte, por el campo gravitacional generado por toda esa enorme masa. Por tanto, el material de la Tierra, al reunirse por medio de la acción del campo gravitacional, fue forzado hacia el centro todo lo que era posible. Cada fragmento de la Tierra se movió hacia el centro hasta que otro fragmento bloqueó físicamente su camino. Por último, cada uno de los fragmentos de la Tierra estaba tan cerca del centro como era posible estarlo, de modo que todo el planeta tenía una energía potencial mínima.

En una esfera, la distancia de las diversas partes del cuerpo a su centro es, por término medio, inferior a lo que sería en cualquier otra forma geométrica; de modo que la Tierra es una esfera. (Y también el Sol y la Luna y todos los otros cuerpos astronómicos de gran tamaño, exceptuando condiciones especiales.)

Y lo que es más, la Tierra, formada como una esfera a causa de la gravitación, está sólidamente comprimida. Los átomos que la componen se hallan en contacto. De hecho, cuanto más se examina la Tierra profundizando en su corteza terrestre, se aprecia que los átomos están cada vez más apretados a causa del peso del material que tienen encima (este peso representa el impulso de la gravitación).

Sin embargo, incluso en el centro de la Tierra, los átomos, aunque sustancialmente comprimidos, permanecen intactos. Y porque están intactos resisten la posterior acción de la gravedad. La Tierra no se hunde más y sigue siendo una esfera de 12.750 kilómetros (7.900 millas) de diámetro, y, siempre que dependa de ella misma, continuará así indefinidamente.

Sin embargo, las estrellas no pueden considerarse de igual manera, porque su masa es de diez mil a diez mil millones de veces la de la Tierra y eso establece una diferencia.

Por ejemplo, consideremos al Sol que tiene una masa trescientas treinta mil veces la de la Tierra. Por consiguiente, su campo gravitacional es trescientas treinta mil veces mayor, y cuando el Sol se formó el impulso que lo convirtió en una esfera era mucho más poderoso en esa misma proporción. Bajo ese enorme impulso, los átomos del centro del Sol, atrapados bajo el peso colosal de las capas superiores, se rompieron y se aplastaron.

Esto puede suceder, ya que los átomos no son análogos absolutamente a pequeñas bolas de billar como se creyó en el siglo XIX. Por el contrario, en su mayor parte son cáscaras blandas de capas electrónicas con muy poca masa o materia, y en el centro de esas cáscaras hay un diminuto núcleo que contiene casi toda la masa. El núcleo tiene un diámetro 1/100.000 parte del átomo intacto. Un átomo parece más bien una pelota de ping-pong, en el centro de la cual flota una bolita o núcleo de metal, invisible a la vista por su pequeñez, y muy densa.

Bajo la presión de las capas superiores del Sol, las cáscaras de electrón de los átomos en el centro del Sol estallan y los diminutos núcleos en el centro de los átomos quedan en libertad. Los núcleos aislados y los fragmentos de cáscara del electrón son mucho más pequeños que los átomos intactos y bajo su poderoso impulso gravitacional el Sol podría contraerse a unas dimensiones sorprendentemente pequeñas. Pero no sucede así.

Esta contracción no se realiza por el hecho de que el Sol, y también otras estrellas, esté compuesto principalmente de hidrógeno. El núcleo de hidrógeno en el centro del átomo de hidrógeno es una partícula elemental subatómica llamada «protón», que lleva una carga eléctrica positiva. Cuando los átomos son aplastados, los protones desnudos pueden moverse libremente y acercarse uno a otro mucho más de lo que podían hacerlo cuando estaban rodeados por las capas de electrón. Esos protones no sólo pueden acercarse uno a otro, sino que pueden chocar con una gran fuerza, ya que la energía del impulso gravitacional se convierte en calor cuando el material del Sol se reúne y se funde, de modo que el centro del planeta está a una temperatura de unos quince millones de grados.

Los protones, al chocar, algunas veces quedan fundidos en vez de rebotar, iniciando con ello una «reacción nuclear». En el proceso de tales reacciones nucleares, algunos protones pierden su carga eléctrica para convertirse en «neutrones», y, eventualmente, queda formado un núcleo constituido por dos protones y dos neutrones. Éste es el núcleo del átomo de helio.

El proceso (igual al que se realiza en una bomba de hidrógeno terrestre, pero con un poder enormemente superior) produce ingentes cantidades de calor que convierten el Sol en una pelota brillante de gas incandescente, y así lo conservan durante un dilatadísimo período de tiempo.

Mientras que la Tierra no puede contraerse más y hacerse más pequeña de lo que es por la resistencia de los átomos intactos, el Sol no puede hacerlo por el efecto expansivo del calor desarrollado en su interior por las reacciones nucleares. La diferencia reside en que la Tierra puede mantener indefinidamente su tamaño, ya que los átomos intactos, por sí mismos, continuarán en ese estado, pero no sucede lo mismo con el Sol. El tamaño del Sol depende de la producción continua de calor en su centro, que a su vez depende de una serie continua de reacciones nucleares productoras de ese calor, que a su vez dependen de un suministro continuo de hidrógeno, el combustible de tales reacciones.

Pero el hidrógeno es limitado. Eventualmente, transcurrido un tiempo suficiente, el hidrógeno del Sol (o de cualquier estrella) disminuirá por debajo de una cantidad crítica. La proporción de reacciones nucleares también disminuirá, y lo mismo sucederá con la energía. El calor será insuficiente para mantener al Sol (o a cualquier estrella) en distensión y comenzará a contraerse. La contracción de una estrella tiene importantes consecuencias gravitacionales.

El impulso gravitacional entre dos objetos aumenta a medida que disminuye la distancia entre sus centros; aumentando, de hecho, con el cuadrado del cambio de la distancia. Si uno se halla a gran distancia de la Tierra, y se reduce esa distancia a la mitad, el impulso de la Tierra sobre uno aumenta 2x2 veces, o sea cuatro veces. Si esa distancia se reduce a una decimosexta parte, el impulso de la Tierra sobre uno se incrementa 16 x16 veces, o doscientas cincuenta y seis veces.

Si nos encontramos en este momento en la superficie de la Tierra y la fuerza del impulso gravitacional del planeta, depende de su masa, de la masa de la persona y del hecho de hallarse a 6.378 kilómetros (3.963 millas) del centro de la Tierra. Nosotros no podemos cambiar la masa de la Tierra de un modo significativo, y es probable que cada cual no quiera

cambiar la suya, pero vamos a imaginar que cambia la distancia hasta el centro de la Tierra.

Por ejemplo, podemos acercarnos al centro de la Tierra cavando un hoyo (en imaginación) a través de la propia materia de la Tierra. Bueno, creeremos que el impulso gravitacional aumenta a medida que nos aproximamos al centro de la Tierra.

¡No! La dependencia entre el impulso gravitacional y la distancia desde el centro del cuerpo atrayente sólo se mantiene si nos encontramos fuera del cuerpo. Únicamente en este caso, al calcular los impulsos gravitacionales, se puede considerar toda la masa del cuerpo como si estuviera concentrada en el centro.

Si penetramos en el interior de la Tierra, únicamente aquella parte de la Tierra que está más cerca del centro de una persona la *atraerá hacia* el centro. La otra parte de la Tierra que está más lejos del centro no contribuye al impulso gravitacional. En consecuencia, cuando penetramos en el interior de la Tierra, el impulso gravitacional *disminuye.* Si llegáramos hasta el mismísimo centro de la Tierra (imaginativamente), no existiría ninguna atracción hacia el centro, puesto que no habría nada más cerca del centro que le atrajera. Estaríamos sujetos a la gravedad-cero.

Sin embargo, supongamos que la Tierra debiera contraerse a la mitad de su radio, únicamente aunque conservando toda su masa. Si nos halláramos lejos de la Tierra, en una nave espacial, esto no le afectaría. La masa de la Tierra continuaría siendo lo que era, como lo sería su masa, y su distancia del centro de la Tierra. Aunque la Tierra se dilatara o se contrajera, su impulso gravitacional sobre una persona no se alteraría (mientras no se dilatara tanto que la absorbiera al interior de su sustancia, en cuyo caso su impulso gravitacional sobre una persona disminuiría).

No obstante, supongamos que estuviésemos de pie en la superficie de la Tierra cuando ésta comenzara a contraerse y continuáramos en pie durante el proceso de contracción. La masa de la Tierra y la de una persona serían la misma, pero su distancia al centro de la Tierra disminuiría en un factor dos. Continuaríamos todavía en la parte exterior de la Tierra, y toda la masa de la Tierra estaría entre cualquier persona y su centro, de manera que el impulso gravitacional de la Tierra se incrementaría en un factor de 2x2, o 4. En otras palabras, la *gravedad de la superficie* de la Tierra se incrementaría al mismo tiempo que se contraía.

Si la Tierra continuara contrayéndose sin perder masa y si continuáramos en la superficie, el impulso gravitacional aumentaría constantemente. Si imagináramos que la Tierra disminuyera hasta un punto de diámetro cero (pero reteniendo su masa), y siguiéramos de pie en ese punto, el impulso gravitacional sobre una persona sería infinito.

Esto es válido para cualquier cuerpo con masa, sin importar su tamaño. Si usted, o yo, o incluso un protón, se contrajera más y más, el impulso gravitacional sobre su superficie o mi superficie o la superficie del protón se incrementaría infinitamente. Y si usted o yo o el protón, quedásemos reducidos a un punto de diámetro cero, pero reteniendo toda la masa original, la gravedad de superficie, en cada caso, se convertiría en infinita.

Agujeros negros («Black holes»)

Naturalmente, no es probable que la Tierra se reduzca a un tamaño menor del que tiene ahora, mientras se mantenga en sus condiciones actuales. Y tampoco se contraerá cualquier cosa de menor tamaño que la Tierra. Incluso algunos cuerpos algo mayores que la Tierra, por ejemplo, Júpiter, que tiene trescientas dieciocho veces la masa de la Tierra, nunca se contraerán por sí mismos.

Sin embargo, las estrellas se contraerán eventualmente. Tienen una masa superior a la de los planetas y su campo gravitacional, muy poderoso, les forzará a contraerse cuando su combustible nuclear descienda por debajo del punto crítico y no se produzca ya suficiente calor para contrarrestar el impulso de gravitación. Hasta dónde llegará esa contracción depende de la intensidad del campo gravitacional del cuerpo que se contrae, y, por tanto, sobre

su masa. Si el cuerpo es suficientemente pesado, no hay límites a la contracción, por lo que sabemos, y se contrae hasta el volumen cero.

Al contraerse la estrella, la intensidad de su campo gravitacional a considerables distancias no cambia, pero su gravedad de superficie aumenta sin limitaciones. Una consecuencia de esto es que la velocidad de escape de la estrella se incrementa constantemente a medida que la estrella se contrae. Cada vez se hace más difícil para cualquier objeto liberarse y alejarse de la estrella mientras la estrella se contrae y su gravedad superficial aumenta.

Actualmente, por ejemplo, la velocidad de escape de la superficie de nuestro sol es de 617 kilómetros (383 millas) por segundo, aproximadamente cincuenta y cinco veces la velocidad de escape de la superficie de la Tierra. Esto es todavía muy pequeño para permitir que algunos materiales escapen del Sol con facilidad. El Sol (y otras estrellas) están emitiendo continuamente partículas subatómicas en todas direcciones a gran velocidad.

Sin embargo, si el Sol se contrajera, y aumentara la gravedad en su superficie, su velocidad de escape se incrementaría en miles de kilómetros por segundo, decenas de miles, cientos de miles. Eventualmente, la velocidad de escape alcanzaría una cifra de 300.000 kilómetros (186.000 millas) por segundo, y ésa es la velocidad de la luz.

Cuando la estrella (o cualquier objeto) se contrae hasta el punto en que la velocidad de escape se iguala con la velocidad de la luz, ha alcanzado el «radio Schwarzschild», llamado así porque fue el astrónomo alemán Karl Schwarzschild (1873-1916) quien primero lo expuso, aunque el primer tratamiento teórico completo de la situación no se realizó hasta 1939, siendo su autor el físico americano J. Robert Oppenheimer (1904-1967).

La Tierra alcanzaría su radio Schwarzschild si se contrajera hasta un radio de 1 centímetro (0,4 pulgadas). Puesto que el radio de cualquier esfera es la mitad de su diámetro, la Tierra sería entonces una pelota de 2 centímetro (0,8 pulgadas) de diámetro, una bola que contendría la totalidad de la masa de la Tierra. El Sol alcanzaría su radio Schwarzschild si se encogiera hasta un radio de 3 kilómetros (1,9 millas) reteniendo toda su masa.

Ha quedado bien establecido que nada que contenga masa puede viajar a una velocidad superior a la de la luz. Pero cuando un objeto se contrae hasta su radio Schwarzschild, o inferior, nada puede escapar de él (1). Cualquier cosa que caiga en el objeto contraído no puede liberarse, de modo que el objeto contraído es como un agujero en el espacio de profundidad infinita. Ni la luz puede liberarse, de manera que el objeto contraído es totalmente negro. El físico americano John Archibald Wheeler (1911-) fue el primero en aplicar el término «Agujeros Negros» *(black holes)* a tales objetos (2).

Por tanto, es probable que los agujeros negros se formen cuando las estrellas carecen de combustible y son bastante grandes para producir un campo gravitacional suficiente para contraerlas a su radio Schwarzschild. Este proceso parece tener una dirección única. Es decir el agujero negro puede formarse, pero no logra deformarse de nuevo. Cuando se ha formado, es, con una excepción que más tarde expondré, permanente.

Además, cualquier cosa que se acerque a un agujero negro probablemente será capturada por el enorme campo gravitacional que existe en su vecindad. El objeto que se aproxima puede dar vueltas en espiral cerca del agujero negro y caer dentro de el eventualmente. Una vez que ha sucedido esto, nunca podrá salir. Por tanto, esto indica que un agujero negro puede ganar masa, pero nunca perderla.

Así pues, si se forman agujeros negros, pero nunca desaparecen, a medida que el Universo envejece, la cantidad de agujeros negros debe aumentar constantemente. Además, si cada agujero negro incrementa su masa, y no la disminuye, todos ellos deben estar creciendo sin cesar. Y si cada año aumenta el número de agujeros negros y aumenta también su masa, se encontrará en los agujeros negros un porcentaje de masa del Universo cada vez mayor a medida que transcurra el tiempo, y, eventualmente, todos los objetos del Universo se encontrarán dentro de uno u otro agujero negro.

En este caso, si vivimos en un Universo abierto, podríamos creer que el final no es

justamente por la entropía máxima y la muerte por el calor en un mar infinito de gas tenue. No es incluso por máxima entropía y muerte por calor en cada uno de los miles de millones de grupos galácticos, separados cada uno de ellos, de todos los demás, por distancias inconmensurables y siempre crecientes. En vez de eso parece que el Universo alcanzaría, en un futuro lejano, la entropía máxima en forma de un número determinado de agujeros negros masivos existentes en grupos, cada uno de ellos separado de los demás por distancias incalculables y siempre crecientes. Éste parece ser, en la actualidad, el futuro más probable para un Universo abierto.

Existen razones teóricas que nos inclinan a suponer que las energías gravitacionales de los agujeros negros pueden llevar a cabo un trabajo considerable. Es fácil imaginar a los seres humanos utilizando los agujeros negros como una especie de horno universal, arrojando en ellos los desperdicios de masa y aprovechando la radiación que el proceso produciría. Si no existiera masa sobrante, sería posible utilizar la energía rotacional del agujero negro. De esta manera se extraería mucha más energía de los agujeros negros que de la propia masa de estrellas corrientes, y la especie humana podría durar más tiempo en un Universo con agujeros negros que en uno que no los tuviera.

Sin embargo, la segunda ley se impondrá finalmente. Toda la materia terminaría en los agujeros negros y éstos dejarían de girar. No se podría sacar de ellas ningún rendimiento de trabajo y existiría la máxima entropía. Al parecer sería mucho más difícil escapar de la muerte por el calor con agujeros negros que sin ellos, cuando este fatídico fin se presente. Si tratamos con agujeros negros no sería posible afrontar las fluctuaciones azarosas de las zonas de baja entropía, por lo que resulta difícil acertar en este caso cómo podría la vida evitar la catástrofe final.

Sin embargo, ¿de qué manera podrían encajar los agujeros negros en un Universo cerrado?

El proceso por el cual los agujeros negros aumentan en número y en tamaño puede ser lento, considerando el tamaño total y la masa del Universo. Aunque el Universo ya tiene quince mil millones de años, probablemente los agujeros negros sólo constituyen una pequeña porción de su masa (1). Aun después de haber transcurrido cientos de miles de billones de años, cuando llegue el cambio inverso y la Tierra comience a contraerse, es posible que los agujeros negros continúen siendo todavía una pequeña fracción de la masa total.

No obstante, cuando el Universo comience a contraerse la catástrofe del agujero negro gana en posibilidades. Los agujeros negros que se formaron durante el período de expansión tenían todas las probabilidades de quedar confinados a los centros de las galaxias, pero cuando los grupos galácticos se acerquen y el Universo se enriquezca cada vez más con radiaciones energéticas, podemos estar seguros de que los agujeros negros se formarán en mayor número y crecerán más rápidamente. En los períodos finales, cuando los grupos galácticos se fusionen, también los agujeros negros se fusionarán y la última compresión para formar el «huevo cósmico» será ciertamente una compresión para crear un enorme agujero negro universal. Algo que posea toda la masa del Universo y las dimensiones del «huevo cósmico», puede ser tan sólo un agujero negro.

En este caso, si nada puede emerger de un agujero negro, ¿cómo el «huevo cósmico» formado por la contracción del Universo podrá estallar para formar un nuevo Universo? Y ¿cómo pudo el «huevo cósmico», que existió hace quince mil millones de años, haber estallado para formar el Universo que ahora habitamos?

Para comprender cómo pudo ocurrir, hemos de considerar que no todos los agujeros negros tienen la misma densidad. Cuanta más masa tiene un objeto, tanto más intensa es su gravedad superficial para comenzar (si se trata de una estrella corriente), y tanto más elevada su velocidad de escape. Por tanto, necesita contraerse mucho menos para aumentar la velocidad de escape hasta un valor igual a la velocidad de la luz y su radio de Schwarzschild será mucho mayor.

Según hemos expuesto anteriormente, el radio Schwarzschild del Sol sería de 3

kilómetros (1,9 millas). Si una estrella con una masa tres veces superior a la del Sol se contrajera a su radio Schwarzschild, ese radio sería igual a 9 kilómetros (5,6 millas).

Una esfera con un radio de 9 kilómetros tendría tres veces el radio de una esfera con un radio de 3 kilómetros, y tendría 3x3x3, o 27 veces más, su volumen. En el volumen veintisiete veces superior de la esfera mayor habría tres veces más de masa. La densidad del agujero negro mayor sería únicamente de 3/27 o 1/9 la densidad del menor.

En general, cuanto mayor es un agujero negro, tanto menor es su densidad.

Si toda la galaxia de la Vía Láctea que posee una masa de unos ciento cincuenta mil millones de veces la del Sol, se contrajera formando un agujero negro, su radio Schwarzschild sería de cuatrocientos cincuenta mil millones de kilómetros o, aproximadamente, 1/20 de un año luz. Un agujero negro de esa magnitud tendría una densidad media de aproximadamente 1/1.000 en relación a la del aire que nos rodea. A nosotros nos parecerá un buen vacío, pero continuará siendo un agujero negro del que nada podría escapar.

Si en el Universo hubiera masa suficiente para convertirlo en cerrado, y si toda esa masa se comprimiera en un agujero negro ¡el radio Schwarzschild de tal agujero negro sería aproximadamente de trescientos mil millones de años luz! Semejante agujero negro tendría un volumen mucho mayor que todo el Universo conocido y su densidad sería considerablemente inferior al promedio de densidad que hoy día se considera posee el Universo.

En ese caso, imaginemos el Universo en contracción. Supongamos que cada galaxia ha perdido la mayor parte de su masa en un agujero negro, de modo que el Universo en contracción consiste en cien mil millones, o más, de agujeros negros, cada una de ellas alrededor de 1/500 de años luz a 1 año luz de diámetro, según su masa. De esos agujeros negros no puede emerger ninguna materia.

Pero, en los últimos niveles de contracción, todos esos agujeros negros se encuentran y se funden, formando un agujero negro único con la masa del Universo, y el radio Schwarzschild a una distancia de trescientos mil millones de años luz. Nada puede salir de ese radio, pero podría suceder que hubiera expansiones *dentro* del radio. La arremetida, por decirlo así, hacia el exterior, de ese radio, puede, de hecho, ser el acontecimiento que provoque el *big bang.*

Repito, el Universo, tal como lo conocemos, se configura dilatándose hacia el exterior por una gran explosión. Es posible que se formen las galaxias, las estrellas y los planetas. Antes o después comienzan a formarse agujeros negros, la masa de los cuales alcanza el tamaño de las estrellas, y todo el proceso comienza de nuevo.

Si lo consideramos desde ese punto de vista, resulta evidente la conclusión de que el Universo no puede ser abierto; que no puede estar dilatándose inconmensurablemente.

El «huevo cósmico» en el que se originó la expansión *debe* de haber sido un agujero negro y *debe* de haber tenido un radio Schwarzschild. Si el Universo tuviera que estar en expansión indefinidamente, parte de él debería trasladarse con el paso del tiempo fuera del radio Schwarzschild, y esto parece ser imposible. En consecuencia, el Universo debe ser cerrado y el cambio a la inversa debe surgir antes de que se llegue al radio Schwarzschild (1).

Quásares

De las tres catástrofes de la primera clase que podrían hacer imposible la vida en todo el Universo, expansión hasta muerte por calor, contracción hasta el «huevo cósmico» y contracción en agujeros negros separados, la tercera es diferente de las otras dos en algunos aspectos importantes.

Tanto la expansión general del Universo hasta la muerte por el calor como su contracción general hasta el «huevo cósmico», afectarían de manera más o menos uniforme a todo el Universo. En ambos casos, suponiendo que la vida humana siga sobreviviendo dentro de cientos de miles de años, no habría razón alguna para suponer que se presentara ningún suceso especialmente malo, o bueno, a causa de nuestra posición en el Universo. Nuestra porción de Universo no recibirá su parte mucho más pronto, o más tarde, que cualquier otra.

En el caso de la tercera catástrofe, la de los agujeros negros separados, la situación es muy distinta. En este caso estamos tratando con una serie de catástrofes *locales.* Un agujero negro puede formarse aquí, y no allí, de manera que la vida puede ser imposible aquí, pero no allí. No hay duda de que, a la larga, todo se fundirá en un agujero negro, pero los agujeros negros que se forman ahora aquí pueden hacer imposible la vida en su vecindad *aquí y ahora,* aunque la vida pueda continuar en otras partes, sin preocupación ni cuidado, durante mil millones de años. Por tanto, hemos de preguntar ahora si existen realmente en este momento agujeros negros, y, en caso afirmativo, hemos de preguntar en dónde estarán probablemente y cuáles son las posibilidades de que alguno de ellos interfiera con nosotros catastróficamente antes (puede ser que muchísimo antes) de la hecatombe final.

Para comenzar, es razonable suponer que un agujero negro se forme en aquellos lugares en los que la mayor parte de la masa ya se ha agrupado. Cuanto más voluminosa sea una estrella, tantas más probabilidades tendrá de convertirse en un agujero negro. Los grupos de estrellas donde se acumulan multitud de estrellas cercanas, todavía tienen más probabilidades.

Las mayores, los grupos más densos de estrellas, se hallan en el centro de las galaxias, especialmente en el centro de las galaxias gigantes como la nuestra, o mayores. Allí, ocupando un pequeño espacio, se amontonan millones de billones de estrellas, y es allí donde probablemente se produzca la catástrofe del agujero negro.

Hace tan sólo unos veinte años, los astrónomos no tenían ni la más remota idea de que en los centros galácticos tenían lugar acontecimientos violentos. Las estrellas estaban a poca distancia en esos centros, pero, incluso en el centro de una gran galaxia, las estrellas mantenían una distancia promedio de quizás una décima parte de año luz, y quedaba espacio todavía para que se movieran sin interferir considerablemente una con otra.

Si nuestro Sol estuviera localizado en una de esas regiones, veríamos a simple vista más de dos mil quinientos millones de estrellas en el espacio, de las que diez millones serían de primera magnitud, o mayores, pero todas ellas serían visibles únicamente como un punto de luz. La luz y el calor que todas esas estrellas nos proporcionarían podrían llegar hasta una cuarta parte de la que recibimos del Sol, y esa luz y calor adicionales podrían hacer la Tierra inhabitable, pero también sería inhabitable si estuviera más alejada del Sol; por ejemplo en la posición de Marte.

Hasta 1960, por ejemplo, hubiéramos podido discurrir de esta manera, e incluso haber deseado que el Sol estuviera *situado* en el centro galáctico de modo que pudiéramos disfrutar de una noche estrellada tan esplendorosa.

Si únicamente pudiéramos observar la luz visible proveniente de las estrellas, nunca hubiéramos tenido motivo para cambiar nuestra opinión. Sin embargo, en 1931, el físico americano Karl Guthe Jansky (1905-1950), ingeniero en radioastronomía, observó, por vez primera, ondas de radio, con longitudes de onda un millón de veces más largas que las de la luz visible, procedentes de determinadas zonas del espacio. Después de la Segunda Guerra Mundial, los astrónomos desarrollaron métodos para observar estas ondas de radio,

especialmente una variedad de onda corta llamada microondas. Fueron localizados diversos orígenes de microondas en el espacio por medio de los radiotelescopios, la calidad de los cuales iba mejorando rápidamente durante la década de los cincuenta. Algunos de ellos parecían estar relacionados con lo que parecían ser estrellas muy débiles de nuestra propia galaxia. No obstante, una cuidadosa investigación de estas estrellas reveló que no sólo eran insólitas al emitir cantidades de microondas, sino también por estar asociadas aparentemente con unas nubes confusas, o nebulosas, que las rodeaban. La más brillante entre todas, catalogada como 3 C 273, daba señal de lanzar un pequeño chorro de materia.

Los astrónomos comenzaron a sospechar que estos objetos emisores de microondas no eran estrellas ordinarias, aunque su aspecto fuese de estrella. Se refirieron a ellas como origen de radio *quasistellar* (semejante a una estrella). En 1964, el astrónomo chino-americano Hong-Yee Chiu acortó la primera parte de esa palabra (1) a «quasar», y desde entonces estos objetos parecidos a estrellas emisores de microondas han sido conocidos con esa denominación.

Se estudió el espectro de los quásares, pero las líneas oscuras que se encontraron no pudieron identificarse hasta 1963. En dicho año, el astrónomo holandés-americano Maarten Schmidt (1929-) reconoció que las líneas eran del tipo normalmente presentes más alejadas en el ultravioleta; es decir que representaban ondas de luz lejana más corta que la más corta que pudiera afectar nuestra retina haciéndose visible para nosotros. Existían en la región visible del espectro de las quásares únicamente porque habían estado sometidas a una enorme desplazamiento al rojo.

Eso significa que los quásares estaban alejándose de nosotros a una velocidad mucho más elevada que la de cualquier galaxia visible y se hallaban, por tanto, mucho más lejos de cualquier galaxia visible. El quasar 3 C 273 es el más próximo a nosotros y se halla a una distancia superior a mil millones de años luz. Se han descubierto docenas de otros quásares, más distantes. El más alejado puede hallarse a una distancia de doce mil millones de años luz.

Para poder alcanzar alguna visibilidad a tan enormes distancias, los quásares han de tener un brillo cien veces superior al de una galaxia como la nuestra. Si lo tienen, no será porque sean un centenar de veces más grandes que la galaxia de la Vía Láctea y posean cien veces más de estrellas. Si los quásares fuesen tan grandes, nuestros grandes telescopios, aun estando a tan considerables distancias, nos los mostrarían como zonas nebulosas y no simples como puntos brillantes de luz. Han de ser mucho más pequeños que las galaxias.

La pequeñez de los quásares también queda demostrada por el hecho de que su brillo varía de un año a otro; en algunas casos, de un mes a otro. Esto no puede suceder en un cuerpo grande del tamaño de una galaxia. Algunas partes de una galaxia pueden palidecer y otras hacerse más brillantes, pero es probable que el promedio siga igual. Para que todo ello brille o empalidezca, una y otra vez, ha de existir algún efecto que experimentan todas sus partes. Ese efecto, sea lo que fuere, debe trasladarse de uno al otro extremo de la galaxia y no puede viajar a una velocidad superior a la de la luz. En el caso de la galaxia de la Vía Láctea, por ejemplo, se necesitarían por lo menos cien mil años para que cualquier efecto se trasladara de un extremo al otro, y si nuestra galaxia modificara su brillo o su palidez, como un todo, repetidamente, podríamos suponer que el período de este cambio de brillo sería de cien mil años o quizá de mayor tiempo.

Los cambios rápidos en los quásares demostraron que no podían tener un diámetro de más un año luz, y, en cambio, emitían radiaciones en una proporción de un centenar de veces las de nuestra galaxia que es de cien mil años luz de diámetro. ¿Cómo podía ser eso? Ya en 1943, debió surgir el inicio de una respuesta cuando un estudiante graduado en astronomía, Carl Seyfert, observó una galaxia peculiar, miembro de un grupo que ahora se denomina «galaxias de Seyfert».

Las galaxias de Seyfert no son de tamaño descomunal ni se hallan a distancias inconmensurables, pero tienen unos centros muy compactos y brillantes que parecen densamente ardientes y activos más bien parecidos a quásares, en efecto. Estos centros

brillantes muestran variaciones en la irradiación, como suelen mostrar los quásares, y es posible que no lleguen a alcanzar más de un año luz de diámetro.

Si imaginamos una galaxia de Seyfert muy distante con un centro especialmente luminoso, todo lo que podríamos ver sería ese centro luminoso; el resto resulta demasiado débil para ser visto. En resumen, parece muy probable que los quásares son galaxias de Seyfert muy distantes de las que nosotros vemos únicamente sus centros luminosos (aunque las nebulosidades débiles alrededor de los quásares más cercanos podrían ser parte visible de las galaxias). Puede haber mil millones de galaxias ordinarias por cada enorme galaxia de Seyfert a distancias superiores a mil millones de años luz, pero nosotros no vemos las galaxias corrientes. Ninguna zona de ellas es lo suficientemente brillante para que podamos distinguirlas.

Las galaxias que no son de Seyfert también parecen tener centros activos; centros que, de uno u otro modo, son fuente de radiación, o que dan señal de haberse producido explosiones, o ambas cosas.

¿Puede ser posible que el agrupamiento de las estrellas en los centros galácticos establezca unas determinadas condiciones que originen los agujeros negros y que los agujeros negros aumenten continuamente y puedan ser enormes y sean precisamente éstos los que produzcan la actividad de los centros galácticos responsables del brillo de los centros de las galaxias de Seyfert y de los quásares?

Sin embargo, surge aquí la cuestión de cómo pueden los agujeros negros ser el origen de la extremada radiación energética de los centros galácticos, si tenemos en cuenta que de un agujero negro no puede emerger nada, ni tan siquiera radiación. La respuesta es que la radiación no ha de salir precisamente del propio agujero negro. Cuando la materia entra en espiral dentro del agujero negro, su órbita extraordinariamente rápida por efecto de la embestida de la enorme intensidad del campo gravitacional en las proximidades del agujero negro, causa de la emisión de una intensísima radiación energética. Los rayos X, que son como la luz, pero que tienen ondas de longitud en proporción 1/500.000, son emitidos en grandes cantidades.

La cantidad de radiación que se emite de este modo, depende de dos cosas: primero, de la masa del agujero negro, ya que un agujero negro más voluminoso puede absorber más materia con mayor rapidez, y de esta manera producir mayor radiación, y segundo, de la cantidad de materia presente en las proximidades del agujero negro. En su proximidad, la materia se agrupa cerca del agujero negro y se sitúa en una órbita llamada un *accretion disc* (disco de crecimiento) (1). Cuanto mayor sea la cantidad de materia en las proximidades, tanto mayor puede ser el «disco de crecimiento», y más elevada será también la cantidad de materia que entre en espiral en el agujero negro y tanto más intensa será la radiación producida.

Un centro galáctico, además de constituir un sitio ideal para la formación de un agujero negro, ofrece también materia próxima en las máximas cantidades. Por tanto, no es de extrañar que se provoquen fuentes de radiación compacta en los centros de tantas galaxias y de que en algunos casos la radiación sea tan intensa.

Algunos astrónomos consideran que todas las galaxias tienen un agujero negro en su centro. De hecho, es posible que cuando se contraen las nubes de gas, poco después del *big bang,* las porciones más densas se condensen en agujeros negros. Se producen entonces otras contracciones dentro de las zonas gaseosas atraídas por el agujero negro y en órbita a su alrededor. De esta manera se formaría una galaxia como una especie de disco de supercrecimiento alrededor de un agujero negro central que se convertiría en la parte más vieja de la galaxia.

En la mayor parte de los casos, los agujeros negros serían más bien pequeños y no producirían suficiente radiación para que nuestros instrumentos observaran nada anormal en el centro. Por otra parte, algunos agujeros negros pueden ser tan enormes que los discos de crecimiento que se hallan más próximos de ellos están compuestos por estrellas intactas que virtualmente se empujan en órbita y que es posible que sean enteramente absorbidas, y este

proceso inunda de extraordinaria luminosidad las zonas inmediatamente próximas al agujero negro y las hace resplandecientes por la radiación energética.

Y lo que es más, al caer rodando en un agujero negro la materia puede desprender hasta un 10 °/o, o más, de su masa en forma de energía, mientras que la radiación normal de las estrellas corrientes a través de la fusión en el centro es el resultado de la conversión de masa en energía en un 0,7 % únicamente.

En estas condiciones, no es sorprendente que los quásares sean tan pequeños, pero tan luminosos. Es fácil también comprender por qué los quásares se debilitan o brillan de esa manera. Eso dependería de la forma irregular con que la materia realizara su espiral hacia dentro. Algunas veces podrían entrar pedazos extraordinariamente grandes y otras cantidades más bien pequeñas.

Según las Investigaciones llevadas a cabo en 1978, sobre la radiación de rayos X del espacio, se considera posible que una galaxia típica de Seyfert tenga agujeros negros centrales con masas de diez a cien millones de veces la del Sol. Los agujeros negros en el centro de los quásares aún deben ser mayores con masas mil millones de veces la del Sol, o quizá más.

Incluso las galaxias que no son de Seyfert pueden ser sorprendentes al respecto si son lo bastante grandes. Hay una galaxia conocida como M 87, por ejemplo, que quizás es cien veces la masa de nuestra propia galaxia Vía Láctea, y quizá contenga treinta billones de estrellas. Forma parte de una gran agrupación galáctica en la constelación de Virgo, y está a una distancia de sesenta y cinco millones de años luz. La galaxia M 87 tiene un centro muy activo, que es inferior (quizá muy inferior) a los 300 años luz de una parte a otra, comparándolo con el diámetro total de toda la galaxia. Y lo que es más, parece existir un chorro de materia lanzado desde el centro más allá de los límites galácticos.

En 1978, los astrónomos informaron sobre una investigación efectuada respecto al brillo del centro comparándolo con zonas exteriores y sobre la proporción en que las estrellas parecían moverse cerca del centro de la galaxia. Los resultados de estos estudios parecían indicar que existe un enorme agujero negro en el centro de esa galaxia, con una masa igual a seis mil millones de veces la del Sol. No obstante, a pesar de ser tan enorme, ese agujero negro únicamente posee 1/2.500 de la masa de la galaxia M 87.

Dentro de nuestra galaxia

Evidentemente, el agujero negro, en el centro de la galaxia M87, y los agujeros negros, en los centros de las galaxias de Seyfert y de los quásares, no pueden representar realmente una amenaza para nosotros. Los sesenta y cinco millones de años luz que nos separan del agujero negro de M87 y las distancias todavía superiores que nos separan de las galaxias de Seyfert y de los quásares representan un aislamiento más que suficiente contra lo peor que los agujeros negros pueden hacer en este momento. Además, los quásares están alejándose de nosotros a enormes velocidades, que llegan de una décima a nueve décimas la velocidad de la luz, e incluso la galaxia M87 se aleja de nosotros a una respetable velocidad.

De hecho, desde que el Universo se halla en expansión, todos los agujeros negros situados en alguna parte fuera de nuestro grupo local se desplazan rápida y continuamente alejándose de nosotros. No podrían afectarnos en modo alguno hasta muy adelantado el período de contracción que por sí mismo sería como la catástrofe definitiva.

¿Qué sucede entonces con las galaxias de nuestro propio grupo local que continuarán próximas a nosotros a pesar del tiempo durante el cual el Universo siga en expansión? ¿Podrían las galaxias de nuestro grupo contener agujeros negros? Es posible. Ninguna de las galaxias del grupo local fuera de nuestra galaxia dan señales de actividades sospechosas en sus centros y no es probable que los pequeños miembros posean grandes agujeros negros. La galaxia de Andrómeda, algo mayor que nuestra galaxia de la Vía Láctea, podría tener un agujero negro en su centro bastante grande, y ciertamente, en ningún momento se alejará

demasiado de nosotros. Por otra parte, tampoco se acercará excesivamente.

¿Y nuestra propia galaxia? Existe actividad sospechosa en su centro. La Vía Láctea no es realmente una galaxia activa en el sentido de la M 87 o de las de Seyfert y los quásares, pero su centro está mucho más cerca de nosotros que el centro de cualquier otra galaxia del Universo. Mientras que el quásar más cercano se halla a mil millones de años luz de distancia; M87, a 65.000.000 años luz, y la galaxia de Andrómeda a 2.300.000 años luz, el centro de nuestra propia galaxia está únicamente a 32.000 años luz. Naturalmente, podríamos observar cualquier pequeña actividad en nuestra galaxia con más facilidad que en cualquier otra.

La actividad de un objeto con una amplitud de 40 años luz en el centro exacto de nuestra galaxia es lo suficientemente grande para justificar la posibilidad de un agujero negro. De hecho, algunos astrónomos están dispuestos a hacer una estimación de un agujero negro situado en el centro de nuestra galaxia con una masa tan grande como cien millones de veces la masa de nuestro Sol.

Semejante agujero negro representa únicamente la 1/60 de la masa del agujero negro que se supone está en el centro de la galaxia M 87, pero hay que tener en cuenta que nuestra galaxia es mucho menos masiva que la galaxia 87. Nuestro agujero negro tendría aproximadamente 1/1.500 de la masa de nuestra galaxia. En proporción al tamaño de la galaxia en donde se halla, nuestro agujero negro sería 1,6 veces mayor que la de M 87.

¿Supone una amenaza para nosotros el agujero negro en el centro de la Vía Láctea? Y si es así, ¿para cuándo?

Podríamos considerarlo de ese modo. Nuestra galaxia se formó muy pronto después del *big bang* y el agujero negro en el centro pudo haberse formado incluso antes que el resto de la galaxia. Digamos que el agujero negro se formó mil millones de años después del *big bang,* o sea, hace mil cuatrocientos millones de años. En este caso, el agujero negro tardó mil cuatrocientos millones de años en absorber el 1/1.500 de nuestra galaxia. En esa proporción tardará unos dos mil cien millones de años en absorber toda la galaxia, en cuyo momento ya debería haber acabado con nosotros la catástrofe de la muerte por el calor, o, más probablemente (creo yo), la próxima catástrofe del «huevo cósmico».

De todas maneras, ¿es acertado decir «en esa proporción»? Después de todo, cuanto mayor se hace un agujero negro, tanto más engulle la materia que le rodea. Es posible que necesitara mil cuatrocientos millones de años para absorber 1/1.500 de nuestra galaxia y únicamente mil millones de años para completar el trabajo.

Por otra parte, la capacidad de un agujero negro para absorber materia depende también de la densidad de la materia próxima. A medida que aumenta el agujero negro en el centro de una galaxia, absorbe por completo las estrellas del núcleo galáctico y forma, eventualmente, lo que podríamos llamar una «galaxia hueca», es decir con un núcleo vacío con excepción de su gigantesco agujero negro en el centro, con una masa de hasta cien mil millones de veces la de nuestro Sol, o incluso un billón de veces en una galaxia realmente grande. Unos agujeros negros de tan enorme tamaño alcanzarían un diámetro entre 0,1 y 1 año luz.

Aun siendo así, las estrellas restantes en los extremos de las galaxias continuarían su órbita alrededor de ese agujero negro central con una relativa seguridad. De vez en cuando, alguna estrella determinada, por influencia de otras estrellas, podría alterar su órbita, quedando demasiado cerca del agujero negro y siendo capturada por ella, pero ese incidente sería extraño y todavía resultaría más extraño con el paso del tiempo. Normalmente, habría tanto peligro en rodear el agujero negro central como el que puede haber en la Tierra en su giro alrededor del Sol. Después de todo, si, por cualquier razón, la Tierra se acercara demasiado al Sol, quedaría absorbida por él con la misma eficiencia que lo haría un agujero negro.

En realidad, incluso si el agujero negro en el centro de la galaxia absorbiera por completo el núcleo y dejara hueca la galaxia, no podríamos distinguirlo, excepto por el descenso en actividad radiante a medida que entrara menos material en el interior del agujero

negro. El centro de la galaxia está oculto tras voluminosas nubes de polvo y grupos de estrellas en dirección de la constelación de Sagitario y, si se vaciara, no apreciaríamos ningún cambio.

Si el Universo fuese abierto, podríamos imaginar la lejana expansión del futuro, como una expansión en la cual todas las galaxias son huecas, una serie de súper agujeros negros, cada una de ellas rodeada por una especie de cinturón asteroidal de estrellas abriéndose camino hacia la muerte por el calor.

Sin embargo, ¿será posible que existan agujeros negros en alguna parte de nuestra galaxia que no sea el centro, y, por tanto, más cerca de nosotros?

Consideremos los grupos globulares. Se trata de apretados grupos esféricos de estrellas, cuyo total mide unos cien años luz de diámetro. Dentro de un volumen relativamente pequeño, puede haber desde cien mil a un millón de estrellas. Un grupo globular viene a ser como una porción desprendida del núcleo galáctico, mucho más pequeña que el núcleo, naturalmente, y no tan apretada. Los astrónomos han descubierto más de un centenar de estos grupos distribuidos en un halo esférico alrededor del centro galáctico. (No hay duda alguna de que otras galaxias poseen también su halo de grupos globulares.)

Los astrónomos han descubierto actividad de los rayos X en el centro de muchos de estos grupos y no es difícil suponer que los mismos procesos que dieron lugar a los agujeros negros en el centro de las galaxias también produjeran agujeros negros en el centro de los grupos globulares.

Las ventanas negras del grupo no serían tan grandes como las de los centros galácticos, pero podrían ser mil veces tan voluminosas como nuestro Sol. Aunque menores que el gran agujero negro galáctico, ¿podrían representar un peligro más inmediato? No, en este momento. El grupo globular más cercano de nosotros es el Omega Centauri, que está a 22.000 años luz de distancia, lo cual nos permite estar todavía a salvo.

Por consiguiente, hasta aquí parece que la iniciativa está de nuestra parte. Los descubrimientos astronómicos desde 1963 han demostrado que los centros de las galaxias y de los grupos globulares son lugares activos, violentos, hostiles a la vida. Son lugares en los que la catástrofe ya se ha presentado en el sentido de que la vida en los planetas que se hallaran en esas zonas se destruiría, ya fuese directamente por absorción en un agujero negro, o indirectamente, por el baño mortal de las radiaciones consecuencia de aquella actividad. No obstante, podríamos decir que no habría nada que pudiera sufrir semejante catástrofe, puesto que, en primer lugar, era muy poco probable que la vida se hubiese formado en tales condiciones. Nosotros, sin embargo, existimos en los tranquilos límites de una galaxia en la que las estrellas están esparcidas con poca densidad. Así que la catástrofe del agujero negro no es para nosotros.

Pero ¡esperen! ¿Será posible que incluso aquí, en los límites de la galaxia, existan agujeros negros? En nuestras proximidades no existen grandes grupos en los que puedan formarse agujeros negros, pero podría haber suficiente masa concentrada en las estrellas aisladas para poder formar un agujero negro. En este caso, hemos de preguntarnos si algunas estrellas gigantes próximas a nosotros habrán formado agujeros negros. Y si es así, ¿dónde están? ¿Podemos reconocerlas? ¿Representan un peligro?

Parece existir una fatalidad engañosa en cuanto a los agujeros negros. No es el agujero negro que nosotros vemos directamente, sino el «grito de muerte» radiacional de la materia que cae dentro de él. El grito de muerte es elevado cuando el agujero negro está rodeado de materia que puede capturar, pero en este caso la materia que la rodea oculta a la vista la proximidad inmediata del agujero negro. Si existe escasa materia rodeando al agujero negro, de modo que tenemos oportunidad de ver lo que está próximo a él, es que también es poca la materia que se absorbe y el grito de muerte es débil, de modo que es muy probable que pase inadvertida la existencia de un agujero negro.

Sin embargo, hay una posibilidad conveniente. Aproximadamente la mitad de las estrellas del Universo parecen existir en parejas («sistemas binarios»), girando una alrededor

de otra. Si ambas son grandes, una de ellas, en un momento determinado, podría convertirse en un agujero negro, y la materia de su evolución, de su compañera podría ser arrastrada, poco a poco, al agujero negro próximo. Eso produciría la radiación sin oscurecer indebidamente el agujero negro.

Con objeto de descubrir situaciones como ésta, los astrónomos han escudriñado el espacio en busca de fuentes de rayos X tratando de separarlas y buscando alguna que estuviese próxima y cuya existencia sólo pudiera explicarse por un agujero negro. Por ejemplo, un origen de los rayos X que cambiara su intensidad de modo irregular podría proceder de un agujero negro mucho más probablemente que aquella cuya intensidad fuese continua o cambiase de modo regular.

En 1969, en el quinto aniversario de la independencia de Kenya, fue lanzado un satélite detector de rayos X desde la costa de dicho país. Se le llamó «Uhuru», derivado del vocablo suahili que significa «libertad». Buscaría fuentes de rayos X desde su órbita más allá de la atmósfera de la Tierra, necesariamente, pues la atmósfera absorbe los rayos X y no permite que ninguno de ellos llegue hasta los aparatos detectores de rayos X situados en la superficie terrestre.

«Uhuru» descubrió ciento sesenta y una fuentes de rayos X, la mitad de ellos en nuestra propia galaxia. En 1974, «Uhuru» observó una fuente brillante de rayos X en la constelación del Cisne, se le llamó «Cygnus X-l», y descubrió un cambio irregular en su intensidad. Toda la atención se concentró ansiosamente en «Cygnus X-l», y también se descubrió radiación de microondas. Las microondas permitieron localizar el origen con toda exactitud, y se vio que estaba situado junto a una estrella invisible y no en ella. La estrella era HD-226868, una estrella azul, grande, caliente, con un volumen de unos treinta veces nuestro Sol. La estrella daba vueltas claramente en una órbita periódica de cinco-seis días, una órbita cuya naturaleza hacía suponer que la otra estrella sería quizás de cinco a ocho veces tan pesada como nuestro Sol (1).

La estrella compañera no puede verse, aunque es fuente de potentes rayos X, que, considerando su masa y el brillo que por tanto debería tener, no sería el caso si se tratase de una estrella normal. Por tanto, ha de ser una estrella desplomada, y es demasiado voluminosa para haber caído en algo menor a un agujero negro. Si es así, es mucho más pequeña que los agujeros negros a que nos hemos estado refiriendo, las que son miles, millones, incluso billones de veces más voluminosas que nuestro Sol. Ésta será cuando más, únicamente ocho veces la masa de nuestro Sol.

Sin embargo, está más cerca que cualquiera de los otros. Los astrónomos estiman que «Cygnus X-l» está solamente a 10.000 años luz de distancia de nosotros, menos que la tercera parte de la distancia de un centro galáctico, y menos que la mitad de la distancia del grupo globular más cercano.

En 1978, se descubrió un sistema binario similar en la constelación de Escorpión. El origen de los rayos X, catalogado como V861Sco, puede constituir un agujero negro con una masa tan grande como doce veces la de nuestro Sol, y únicamente se halla a 5.000 años luz de distancia.

Podemos argumentar con razón que una distancia de 5.000 años luz es bastante segura. Y, más aún, que es improbable que haya agujeros negros, a menor distancia. El tipo de estrellas que produce un agujero negro es tan escaso que no es probable que uno de ellos estuviera cerca de nosotros en condiciones que le permitieran pasar inadvertida. Si estuviere suficientemente cerca, incluso las cantidades menores de materia que cayeran dentro de ella producirían intensidades de rayos X fácilmente detectables.

Sin embargo, estos agujeros negros próximos presentan un peligro que las otras no tienen. Reflexionemos: todos los agujeros negros en las galaxias fuera de nuestro grupo local están muy lejanos y sometidos a un movimiento continuo de alejamiento a causa de la expansión del Universo. Todos los agujeros negros en galaxias ajenas a la nuestra, pero dentro del grupo local, se hallan todavía muy lejos, y, en conjunto, mantienen su distancia. Aunque

no presentan un movimiento apreciable alejándose de nosotros, tampoco se aproximan de una manera apreciable. Naturalmente, el agujero negro en el centro de nuestra galaxia está más cerca de nosotros que cualquier otro de cualquier otra galaxia, pero éste también mantiene su distancia, pues el Sol se mueve a su alrededor en una órbita casi circular.

Sin embargo, todos los agujeros negros de nuestra galaxia que no están en el centro, se mueven como nosotros lo hacemos alrededor del centro de la galaxia. Todos describimos nuestras órbitas y en su trayectoria a su alrededor, esos agujeros negros pueden retroceder o acercarse a nosotros. De hecho, la mitad del tiempo están expuestas a aproximarse a nosotros.

¿A qué distancia? ¿Con qué peligrosidad?

Por consiguiente, ha llegado ya el momento de pasar de las catástrofes de primera clase, que afectan a todo el Universo en general, a las catástrofes de segunda clase, que afectan especialmente a nuestro Sistema Solar.

SEGUNDA PARTE

CATÁSTROFES DE SEGUNDA CLASE

Capítulo V

COLISIONES CON EL SOL

Nacimiento por un encuentro cercano

Según lo que hemos expuesto, al parecer la catástrofe de primera clase es más probable, y casi inevitable es la llegada del «huevo cósmico» dentro de, quizás, un billón de años. Sin embargo, la discusión sobre agujeros negros ha demostrado que las catástrofes locales podrían afectar a muchos lugares determinados antes de que transcurriera el período de un billón de años. Por tanto, ha llegado el momento de considerar el riesgo de una catástrofe local que hiciera inhabitable nuestro Sistema Solar y pusiera fin a la vida humana, aunque el resto del Universo quedara intacto.

Ésta sería una catástrofe de segunda clase.

Con anterioridad a la época de Copérnico, parecía evidente, por sí mismo, que la Tierra era el centro inmóvil del Universo, con todo el resto girando a su alrededor. Las estrellas, especialmente, se creía estaban fijas en la esfera más alejada del espacio y que daban vueltas, de una sola pieza, por decirlo así, alrededor de la Tierra en 24 horas. Se hablaba de las estrellas como «estrellas fijas» para diferenciarlas de aquellos cuerpos próximos, el Sol, la Luna, los planetas, que giraban independientemente.

Aun después de que el sistema de Copérnico eliminara la Tierra de su posición central, en principio eso no afectó la visión de las estrellas. Seguían siendo objetos brillantes e inmóviles, fijos en una esfera lejana, mientras que dentro de esa esfera el Sol ocupaba el centro y los diversos planetas, incluida la Tierra, giraban a su alrededor.

Sin embargo, en 1718, el astrónomo inglés Edmund Halley (1656-1742), observando la posición de la estrellas, comprobó que por lo menos tres estrellas, Sirio, Proción y Arturo, no se hallaban en los lugares registrados por los griegos. La diferencia era sustancial y no era posible que los griegos hubieran cometido semejante error. Halley dedujo que esas estrellas se habían movido con relación a las otras. Desde aquel momento, cada vez más estrellas han demostrado semejante «movimiento propio» mientras que tos instrumentos de los astrónomos para observar ese movimiento se han hecho más sensibles.

Evidentemente, si varias estrellas se mueven por el espacio a igual velocidad, el cambio de posición de una estrella muy distante sería menor al ser observada que el cambio de una estrella más cercana. (Sabemos por experiencia que un avión lejano parece moverse más lentamente comparándolo con otro que se halle más cerca.) Las estrellas están tan distantes que únicamente la más cercana puede mostrar un movimiento propio apreciable, pero esto nos permite extraer la razonable conclusión de que todas las estrellas se mueven.

Al referirnos al movimiento propio de una estrella, hablamos únicamente de su movimiento a través de nuestra línea de visión. Puede ser que una estrella se aproxime o se aleje de nosotros, y esa parte de movimiento no se vería como su movimiento propio. De hecho, podría estar moviéndose directamente hacia nosotros o directamente alejándose, de manera que no habría movimiento alguno en la línea de visión, aunque pudiera estar relativamente próxima a nosotros.

Por suerte, mediante el efecto Doppler-Fizeau, que ya hemos descrito, también puede determinarse la velocidad de acercamiento o alejamiento y la «velocidad del espacio» tridimensional también puede apreciarse por lo menos en las estrellas más próximas.

En este caso, ¿por qué no ha de moverse también el Sol?

En 1783, el astrónomo germano-británico William Herschel (1738-1822) estudió los movimientos propios conocidos hasta la fecha. Parecía que las estrellas de la mitad del espacio tendían, en conjunto, a moverse alejándose unas de otras. La otra mitad parecía moverse en aproximación. Herschel decidió que la explicación más lógica era suponer que el

Sol se movía en una dirección particular hacia la constelación de Hércules. Las estrellas a las que nos acercábamos parecían alejarse mientras nosotros nos acercábamos, y las estrellas detrás de nosotros parecían agruparse.

Cuando los cuerpos astronómicos se mueven cruzando el espacio, es probable que uno gire alrededor del otro si están suficientemente cerca uno del otro de modo que sus campos gravitacionales les afecten intensamente. De esta manera, la Luna gira alrededor de la Tierra, mientras que la Tierra y los otros planetas giran alrededor del Sol. Repetimos, una estrella del sistema binario girará alrededor de la otra.

Sin embargo, cuando los cuerpos están alejados uno de otro y cuando no existe un cuerpo que por su enorme masa predomine sobre todos los demás (como el Sol predomina sobre todos los cuerpos más pequeños del Sistema Solar), los movimientos no se limitan a un simple giro de un cuerpo alrededor del otro. El movimiento parece ser entonces casi azaroso, como el de las abejas en la colmena. Durante el siglo XIX, este movimiento como-abejas-en-una-colmena fue característico de las estrellas a nuestro alrededor, y en esa época no parecía ilógico suponer que con esos movimientos al azar una estrella pudiera chocar contra otra.

De hecho, en 1880, el astrónomo inglés Alexander William Bickerton (1842-1929) sugirió que de esa manera pudo haberse formado el Sistema Solar. En tiempos muy lejanos, pensó Bickerton, una estrella había pasado cerca del Sol y por el efecto gravitacional de cada una de ellas sobre la otra, de ambas se desprendió material que más tarde quedó condensado formando los planetas. Las dos estrellas se habían acercado como cuerpos simples y cada una de ellas se había alejado con los principios de un sistema planetario. Era un ejemplo casi dramático de lo que únicamente podría ser descrito como una violación cósmica. Esta «teoría catastrófica» de los orígenes del Sistema Solar fue más o menos aceptada por los astrónomos, con cierta variedad de modificaciones, durante más de medio siglo.

Es evidente que, aunque semejante catástrofe pudiera marcar el principio del mundo para nosotros, señalaría también, si se repitiera, su final catastrófico. Otro acercamiento de una estrella a nuestro Sol nos sometería durante largo tiempo al calor creciente de un segundo astro cercano, mientras que nuestro Sol, de un modo u otro, perdería su estabilidad por el efecto gravitacional creciente que ejercería. Ese mismo efecto produciría alteraciones graves en la órbita de la Tierra. Es muy improbable que la vida pudiera resistir los enormes efectos de estas condiciones sobre la superficie de la Tierra.

¿Por tanto, cuántas probabilidades hay de que se produzca esa casi colisión?

Es muy poco probable. De hecho, una de las razones por las cuales la teoría catastrófica de los orígenes del Sistema Solar no persistió, finalmente, fue por que implicaba ese acontecimiento tan improbable. En los límites de la Galaxia, en donde nosotros estamos situados, las estrellas se hallan tan alejadas y se mueven tan lentamente en comparación a las enormes distancias de separación, que las colisiones resultan difíciles de imaginar.

Consideremos a Alfa Centauri, que es la estrella más cercana de nosotros (1). Se halla a 4,4 años luz de la Tierra y se aproxima. No se aproxima de manera directa, pues también se mueve de lado. El resultado es que llegará a estar eventualmente a tres años luz de nosotros cuando pase por nuestro lado (sin estar lo bastante cerca para afectarnos en modo alguno) y comenzar a alejarse.

Sin embargo, supongamos que se nos acercara directamente. La Alfa Centauri se traslada por el espacio, en relación a nosotros, a una velocidad de 37 kilómetros (23 millas) por segundo. Si se acercara a nosotros directamente a esta velocidad, cruzaría nuestro Sistema Solar dentro de 35.000 años.

Por otra parte, supongamos que la Alfa Centauri se dirigiera a un punto solamente a quince minutos de distancia del punto en donde hubiera chocado con el Sol, diferencia que representaría la mitad de la anchura de la Luna tal como aparece ante nosotros. Esto sería como si intentáramos acertar en algo en el preciso centro de la cara de la Luna pero fallásemos y diéramos en el borde. Si la puntería del Alfa Centauri no fuese mejor que la nuestra, no nos acertaría por 1/50 de año luz o unos ciento ochenta mil millones de

kilómetros (110.000 millones de millas). Esto sería treinta veces la distancia de Plutón al Sol. La Alfa Centauri sería, en este caso, una estrella en el espacio extraordinariamente brillante, pero su efecto sobre la Tierra a esa distancia carecería de importancia.

Tenemos otra manera de considerarlo. La separación media entre las estrellas de nuestra parte de la galaxia es de 7,6 años luz y la velocidad media a la que se mueven en relación unas de otras quizás es de 100 kilómetros (62 millas) por segundo.

Reduzcamos los años luz a kilómetros e imaginemos que las estrellas, reducidas en proporción, tienen 1/10 de milímetro de diámetro. Estas diminutas estrellas, parecidas a granos de arena escasamente visibles a simple vista, estarían distribuidas con un promedio de separación de 7,6 kilómetros (4,7 millas). Vistas desde un campo bidimensional, encontraríamos catorce de ellas esparcidas sobre el área de los cinco barrios de la ciudad de Nueva York.

Cada una de ellas se movería a una velocidad (reducida en proporción) de 30 centímetros (1 pie) al año. Por tanto, imaginemos estos catorce granos de arena esparcidos por encima de los cinco barrios y moviéndose cada uno de ellos 30 centímetros al año, sin rumbo, y preguntémonos cuáles son las probabilidades para que dos de ellas lleguen a chocar.

Se ha calculado que, en los extremos de la Galaxia, las probabilidades de que dos estrellas se aproximen muy cerca, son de uno entre cinco millones durante los quince mil millones de años, tiempo de vida total de la Galaxia. Esto significa que, incluso contando con el billón de años antes de que se forme el próximo «huevo cósmico», queda únicamente una probabilidad entre 80.000 de que una estrella se aproxime de cerca a la nuestra. Este tipo de catástrofe de segunda clase está tan por debajo del nivel de probabilidades con respecto a las catástrofes de la primera clase, que parece innecesario preocuparse por ello.

Además, hemos de tener presente que, dado el nivel actual de conocimientos astronómicos (sin contar los niveles más altos a los que se puede llegar en el futuro), nos sería posible conocer el acercamiento de una estrella y la posible colisión muchos miles de años por adelantado. Las catástrofes, cuando se presentan, son mucho más peligrosas si son súbitas e inesperadas, sin dejarnos ningún tiempo para adoptar medidas de precaución. Aunque la colisión con una estrella nos encontraría ahora desamparados, aunque hubiéramos tenido la advertencia hace muchos miles de años, puede ser que en el futuro no suceda necesariamente igual (según explicaremos después) y a partir de ahora podemos esperar que el aviso se reciba con tiempo suficiente para poder evacuar o evitarlo.

Por ambas razones, la escasísima probabilidad de que suceda y la seguridad de un largo período de advertencia, no tiene sentido preocuparse por esta catástrofe determinada.

A propósito, debo advertir que no importa si la estrella invasora es o no un agujero negro. El agujero negro no podría destruirnos con más eficiencia que una estrella ordinaria, aunque un gran agujero negro con una masa igual a cien veces la de nuestro Sol podría ejercer su efecto mortal a diez veces la distancia a que lo haría una estrella ordinaria. De manera que no necesitaría tanta precisión para caer sobre nosotros.

Sin embargo, es muy probable que los agujeros negros de gran tamaño sea tan infrecuentes, que aun teniendo en cuenta su gran esfera de acción, la posibilidad de que una de ellas se aproxime catastróficamente cerca, es millones de veces inferior que la ya escasa probabilidad de que así ocurra con una estrella corriente.

Pero existen otros cuerpos, además de las estrellas, que podrían acercarse a nosotros catastróficamente, y esos otros objetos podrían en casos determinados presentarse con muy poca o ninguna advertencia. En su debido momento nos ocuparemos de estos casos.

En órbita alrededor del núcleo galáctico

Otra razón en contra de la posibilidad de un encuentro catastrófico de nuestro Sol con

una estrella, reside en el hecho de que las estrellas próximas a nosotros *no* se muevan, después de todo, como lo harían las abejas al azar alrededor de la colmena. Este movimiento sin rumbo podríamos encontrarlo en el centro de la galaxia, o en el centro de un grupo globular, pero no aquí.

En los alrededores de la Galaxia, la situación es semejante a la del Sistema Solar. El núcleo galáctico, que ocupa una porción central de la Galaxia, más bien pequeña, tiene una masa de varios miles de millones la del Sol, parte de la cual, naturalmente, sería el agujero negro central, suponiendo que exista. Este núcleo, actuando como un todo, sirve como el «Sol» de la Galaxia.

Los miles de millones de estrellas en los alrededores galácticos giran alrededor del núcleo galáctico, como los planetas lo hacen alrededor del Sol. El Sol, por ejemplo, que está a 32.000 años luz del centro galáctico, gira alrededor de ese centro en una órbita casi circular y a una velocidad de unos 250 kilómetros (155 millas) por segundo, y necesita unos 200 millones de años para completar una vuelta. Puesto que el Sol se formó hace unos cinco mil millones de años, esto significa que ha completado veinticuatro o veinticinco vueltas alrededor del centro galáctico durante toda su vida, suponiendo que esa órbita haya sido la misma durante todo ese período de tiempo.

Naturalmente, las estrellas que están más cerca que el Sol del centro galáctico, se mueven con mayor rapidez y completan su giro en menos tiempo. Al avanzar, se acercan a nosotros, pero, cuando nos rebasan, a una distancia probablemente segura, se alejan de nosotros. Del mismo modo, las estrellas que están más alejadas del centro galáctico se mueven con menos rapidez y completan su órbita en un período de tiempo más largo. Cuando sobrepasamos a esas estrellas, parece como si ellas se aproximen a nosotros, pero, tras haberlas rebasado, a una distancia probablemente segura, dichas estrellas se alejan de nosotros.

Si todas las estrellas se movieran en órbitas circulares muy cercanas, aproximadamente en el mismo plano a muy diferentes distancias desde el punto alrededor del cual giran (como sucede con los planetas del Sistema Solar) nunca habría la menor posibilidad de una colisión o casi colisión. De hecho, durante los quince mil millones de años de la historia de la galaxia, parece que las estrellas están siguiendo precisamente este orden, de manera que los alrededores de la galaxia forman un anillo horizontal (dentro del cual las estrellas están ordenadas en series de estructuras espirales), cuyo plano pasa por el centro del núcleo galáctico. El hecho de que el Sol haya realizado veinticinco órbitas completas sin ninguna señal de deformación que hayamos podido observar en los registros geológicos de la Tierra, demuestra la eficiencia con que funciona esta disposición.

Sin embargo, existen solamente nueve planetas mayores en el Sistema Solar mientras que existen miles de millones de grandes estrellas en los alrededores de la galaxia. Aunque la mayor parte de las estrellas sigan regularmente una órbita, incluso un pequeño porcentaje de revoltosas significa un gran número de estrellas con órbitas problemáticas.

Algunas estrellas tienen órbitas totalmente elípticas. Cabe dentro de lo posible que la órbita de una estrella semejante rozara la nuestra y en algún punto queden separadas por una distancia relativamente pequeña; pero cada vez que el Sol ha estado en ese punto de rozamiento, la otra estrella se ha encontrado lejos, y viceversa. Pero sería inevitable, eventualmente, que el Sol y la otra estrella alcanzaran aproximadamente al mismo tiempo ese punto de rozamiento y sufrieran un acercamiento próximo, pero esa sería una larga probabilidad.

Lo que es peor es que las órbitas no mantienen necesariamente ese estado de equilibrio. Cuando dos estrellas se acercan a una distancia moderada, un acercamiento insuficiente para estorbar los sistemas planetarios (si los hay) de alguna de ellas, el efecto mutuo de la gravitación puede alterar un poco la órbita de ambas. Aunque el Sol no este expuesto, por sí mismo, a un acercamiento semejante, puede resultar afectado por él. Las dos otras estrellas, por ejemplo, tienen un acercamiento próximo al otro lado de la galaxia, y una

de ellas sufre una alteración (o «perturbación») en su órbita, de manera que allí donde nunca se había acercado previamente a la órbita del Sol ahora tendría potencia suficiente para acercarse al Sistema Solar.

Como es natural, esto actúa también a la inversa. Una estrella cuya órbita la acercara peligrosamente al Sistema Solar, como resultado de una perturbación en la que nosotros no estamos implicados, puede variar su órbita de manera que no se nos acerca en absoluto.

Las órbitas elípticas presentan otro interesante problema. Una estrella con una órbita marcadamente elíptica puede hallarse ahora en nuestra zona de la Galaxia, pero dentro de centenares de millones de años puede haberse trasladado al otro extremo de su órbita mucho más alejada del núcleo galáctico de lo que está ahora. Semejante órbita elíptica, que coloca a la estrella, mientras se halla en nuestra vecindad, en/o próxima a su máximo acercamiento del núcleo galáctico, no es peligrosa. Poco puede suceder en su trayectoria por allí.

Una órbita elíptica también puede situar una estrella próxima a nosotros, en/o cerca del punto más alejado de su órbita, y dentro de un centenar de millones de años puede haberse adentrado más en la galaxia y estar rozando el núcleo galáctico a una distancia mucho menor. Comprensiblemente, esto puede provocar algún problema.

Las estrellas están mucho más diseminadas cuanto más se acerca al núcleo y sus órbitas son menos regulares y estables. Una estrella que se mueve hacia adentro aumenta sus posibilidades de perturbación. Hay pocas probabilidades de una colisión inmediata, pero el riesgo es sustancialmente mucho mayor que cuando se encuentra en los alrededores. El riesgo de un acercamiento suficiente para introducir una perturbación orbital se acrecienta, quizás, en la misma proporción y lo bastante para hacerse perceptible.

Puede existir un gran riesgo de que cada estrella de los alrededores cuya órbita elíptica la acerque más al núcleo, resulte con una órbita por lo menos ligeramente modificada, órbita que, si antes no era peligrosa para nosotros, pudiera serlo ahora (o al contrario, naturalmente). De hecho, una perturbación así podría afectarnos de modo muy directo.

Me he referido ya al caso de una estrella que pasara rozándonos a una distancia del Sol treinta veces la distancia del planeta más lejano, Plutón. He dicho que no podía afectarnos en manera alguna. Y no nos afectaría en el sentido de que no influiría grandemente en la actividad del Sol o en el ambiente de la Tierra. Mucho menos si pasaba a una distancia de un año luz o similar.

Sin embargo, una estrella fugaz, sin pasar lo bastante cerca para causarnos ni el más ligero problema con respecto a un incremento de calor, puede hacer disminuir muy ligeramente el avance del Sol alrededor del centro galáctico. En ese caso, la órbita casi circular del Sol puede hacerse un tanto más elíptica y puede aproximarse algo más al núcleo galáctico de lo que ha venido haciendo en sus dos docenas de revoluciones anteriores.

Estando más cerca del núcleo galáctico, aumentan las posibilidades de una perturbación posterior, y podrían provocarse algunos cambios. Con un poco de mala suerte, el Sol puede situarse finalmente en una órbita que nos lleve tan cerca de la zona interior de la galaxia, digamos dentro de mil millones de años, que la radiación general del ambiente sea suficientemente poderosa para eliminar todo rastro de vida. No obstante, las posibilidades de que esto ocurra son muy pequeñas pudiendo evaluarse de 1 entre 80.000 durante el próximo billón de años.

Sin embargo, esa posibilidad de 1 entre 80.000 se refiere a las estrellas individuales. ¿Y los grupos globulares? Éstos no están situados en el plano galáctico, pero se encuentran distribuidos alrededor del núcleo galáctico como una concha esférica. Cada grupo globular gira alrededor del núcleo galáctico, pero su plano de revolución está inclinado en un gran ángulo hacia el plano galáctico. Si un grupo globular se halla ahora situado muy por encima del plano galáctico, descenderá oblicuamente, al moverse en su órbita, pasará por el plano galáctico hundiéndose muy por debajo de él, ascendiendo después oblicuamente y pasando a través del plano galáctico por el lado opuesto del núcleo galáctico, para regresar al lugar en

donde ahora está.

Si un grupo globular se halla tan lejos del núcleo galáctico como nosotros estamos, cada cien millones de años aproximadamente pasará a través del plano galáctico. Si se halla más cerca del núcleo, lo hará en intervalos más cortos; si está más lejos, en intervalos más largos. Puesto que deben de existir hasta unos doscientos de tales grupos en conjunto, es de esperar que, como promedio, uno u otro de esos grupos globulares cruzará el plano galáctico cada 500.000 años aproximadamente, si la distancia media de los grupos globulares hasta el núcleo galáctico es igual a la del Sistema Solar.

Un grupo galáctico tiene un área de corte transversal que llega a ser de un trillón de veces la de una estrella ordinaria, y al cruzar el plano galáctico tiene un trillón de veces más probabilidades de chocar con alguna estrella de las que tendría una estrella sola que atravesara el plano galáctico.

Hay que aclarar que la naturaleza de las colisiones no es la misma. Si nuestro Sol fuese acertado por una estrella sería un caso claro de colisión. Si nuestro Sol fuese acertado por un grupo globular, por otro lado, no habría, en absoluto, una auténtica colisión. Aunque el grupo globular, al ser observado desde lejos, parece repleto de estrellas, queda todavía un gran espacio vacío. Si nuestro Sol pasara por casualidad entre un grupo globular, tan sólo habría una posibilidad en un billón de que chocara con una estrella individual del grupo. (Una escasa posibilidad, pero muchísimo mayor que si el Sol debiera pasar, *como es él caso,* por entre los alrededores galácticos en donde hay otras estrellas individuales.)

Sin embargo, aunque no es probable que un globo globular dañe físicamente al Sol en caso de una colisión, o incluso afecte seriamente el ambiente de la Tierra a través de simple luz y calor, existiría una posibilidad bastante respetable de que, como resultado, se alterara la órbita del Sol. Sería posible, y no para mejorar.

La posibilidad de perturbación aumentaría a medida que la colisión se hiciera más inminente, de modo que el Sol pasaría por entre el grupo globular recorriendo un camino que le conduciría cada vez más cerca del centro del grupo. En el centro, las estrellas no sólo están agrupadas más densamente, de modo que la posibilidad de perturbaciones y la de un choque se incrementaría, sino que, además, el Sol podría aproximarse a un agujero negro con una masa de un millar de soles que podría hallarse en el centro.

La posibilidad de perturbación, e incluso de captura, podría ser muy grave, y aunque no ocurriese, la radiación energética en las proximidades del agujero negro podría poner punto final a la vida en la Tierra sin afectar en absoluto la estructura física del planeta.

Las posibilidades de que algo de esto suceda son muy escasas. No hay muchos grupos globulares y únicamente aquéllos que pasan por el plano galáctico a una docena de años luz de distancia de la Tierra desde el núcleo galáctico pueden representar algún peligro para nosotros. Cuanto más, uno o dos podrían presentarlo, pero las posibilidades de que crucen en el plano justamente mientras el Sol se acerque a esa zona de su gran órbita son, en realidad, muy reducidas.

Además, la colisión inminente de un grupo globular con nuestro planeta, es mucho menos una espada de Damocles, que el acercamiento próximo de una estrella individual. Un grupo globular es un cuerpo mucho más prominente que una estrella individual, cuando ambos se hallan a una misma distancia, y si un grupo globular estuviera moviéndose de modo que diera motivo para crear el temor de un choque, dispondríamos, sin alguna duda, de un período de aviso de un millón de años, o quizá superior.

Miniagujeros negros

En cuanto se refiere a colisiones con objetos visibles, *sabemos* que el Sol está a salvo durante millones de años. No hay nada visible encaminado en nuestra dirección desde una distancia lo suficientemente cerca para alcanzarnos durante ese tiempo. ¿Podrían existir en el

espacio objetos que sea posible observar y cuya existencia ignoremos? ¿No podría estar acercándose uno de estos objetos, incluso siguiendo una trayectoria directa al Sol, proporcionando muy pocas señales o ningunas en absoluto? ¿Qué sucede con los agujeros negros del tamaño del «Cygnus X-l»; agujeros negros que no son aquellos gigantescos agujeros del centro de las galaxias y grupos globulares, y que permanecen allí, sino agujeros negros del tamaño de estrellas que giran en órbitas alrededor de los centros galácticos? «Cygnus X-l» nos revela su presencia por las grandes cantidades de materia que absorbe de su estrella compañera perfectamente visible. Sin embargo, supongamos que se formase un agujero negro por el colapso de una estrella individual, solitaria.

Supongamos que semejante agujero negro de estrella solitaria tiene una masa cinco veces superior a la de nuestro Sol, y, por tanto, un radio de 15 kilómetros (9,3 millas). No hay estrella compañera cuya presencia nos la delate; no hay estrella compañera para alimentar su masa y producir una vasta radiación de rayos X. Solamente existirían los pequeños escapes de gas entre las estrellas para aumentarle y eso tan sólo produciría un centelleo breve de rayos X, difícilmente apreciable a cualquier distancia.

Un agujero negro de esta clase podría hallarse a un año luz de nosotros y ser demasiado pequeño físicamente y con una actividad de radiación tan escasa como para observarla. Podría estar dirigiéndose directamente hacia el Sol, y lo ignoraríamos. No lo sabríamos hasta que estuviera casi encima de nosotros y su campo gravitacional estuviese provocando algunas inesperadas perturbaciones en nuestro sistema planetario, o cuando se observara un origen de rayos X muy débil, pero en continuo incremento. En este caso, el final de nuestro mundo sólo lo recibiríamos con unos pocos años de aviso. Aunque cruzara el Sistema Solar sin chocar, su campo gravitacional podría producir el caos en la delicada concepción mecánica celestial del Sistema Solar.

¿Existen probabilidades de que esto suceda? Realmente, no muchas. Una estrella ha de ser muy grande para hundirse y convertirse en un agujero negro y no existen muchas estrellas en esas condiciones. Cuanto más, es posible que tan sólo haya una estrella en la Galaxia por cada 10.000 estrellas visibles, del tamaño adecuado para ser un agujero negro. Si existe únicamente una posibilidad entre 80.000 para que una estrella corriente choque con el Sol durante un período de un billón de años, sólo existe una posibilidad entre ochocientos millones para que esto ocurra con un agujero negro del tamaño de una estrella. Podría suceder el año próximo, pero las posibilidades de que ocurra son aproximadamente de una entre un sextillón, y sería totalmente irrazonable preocuparse por semejante posibilidad.

Parte de los motivos por los cuales hay tan pocas probabilidades de que ocurra una catástrofe, se basan en el hecho de que sea tan pequeño el número de agujeros negros del tamaño de una estrella. No obstante, se sabe que entre cualquier tipo de cuerpos astronómicos las variedades pequeñas son mucho más numerosas que las mayores. ¿No sería posible que los agujeros negros pequeñas fuesen mucho más numerosos que las grandes? Un agujero negro pequeño no causaría tanto impacto como uno grande, pero el daño sería suficiente, y puesto que los agujeros negros pequeños son tan numerosos, las posibilidades de un choque pueden aumentar de una manera alarmante.

Sin embargo, sería muy improbable que hallásemos actualmente en nuestro Universo agujeros negros varias veces inferiores a la masa del Sol. Una gran estrella podría comprimirse y convertirse en un agujero negro bajo el impulso de su propio campo gravitacional, pero no parecen existir fuerzas disponibles para formar un agujero negro de un cuerpo menor a una gran estrella.

Sin embargo, esto no resuelve el problema. En 1974, el físico inglés Stephen Hawking sugirió que durante el curso del *big bang,* las masas arremolinadas de materia y radiación desarrollaron presiones increíbles en algunos lugares, presiones que, en los primeros momentos de la formación del Universo, produjeron innumerables agujeros negros de todas las masas, desde la de una estrella hasta objetos muy pequeños, de un kilogramo, o menos todavía. Los agujeros negros compuestos de masas inferiores a las de las estrellas

fueron llamadas, por Hawking, «miniagujeros negros».

Los cálculos de Hawking demostraron que los agujeros negros no retienen realmente toda su masa, sino que *es* posible que alguna materia escape de ellos. Aparentemente, es posible que se formen parejas de partículas subatómicas en el radio Schwarzschild que se precipiten en direcciones distintas. Una de las partículas penetra nuevamente en el agujero negro, pero la otra escapa. Este escape continuo de partículas subatómicas da como resultado que el agujero negro se comporte como si tuviera una temperatura alta y en lenta evaporación.

Cuanto menos masiva es un agujero negro, tanto más elevada es su temperatura, y tanto más rápidamente tiende a la evaporación. Esto significa que mientras un miniagujero negro se contrae por su evaporación, la temperatura se eleva y la proporción de evaporación aumenta constantemente hasta que el último fragmento del mini agujero negro estalla con fuerza explosiva y se desvanece.

Los miniagujeros negros muy pequeños no habrían soportado los quince mil millones de años de historia del Universo, y ya habrían desaparecido por completo. Tengamos en cuenta, sin embargo, que si un miniagujero negro tuviera una masa superior a la de un iceberg, por ejemplo, sería suficientemente fría para tener una evaporación lenta y todavía podría existir. Si en el curso de su vida hubiera recogido masa, como es muy probable hiciera, se habría enfriado todavía más y su tiempo de vida se prolongaría más aún (1).

Incluso aceptando la desaparición de la más pequeña (y más numerosa) de las mini agujeros negros, pueden existir todavía muchísimos miniagujeros negros con una masa que puede variar, desde el tamaño de un asteroide pequeño hasta el de la Luna. Hawking ha estimado que puede haber en la galaxia hasta trescientas miniagujeros negros por cada año luz cúbico. Si seguían la distribución general de la masa, la mayor parte de ellos deberían estar en el núcleo galáctico. En los alrededores, en donde nosotros estamos, puede haber únicamente hasta treinta miniagujeros negros por año luz cúbico. Esto significaría un porcentaje de separación entre las miniagujeros negros de aproximadamente quinientas veces la distancia entre el Sol y Plutón. Es probable que el miniagujero negro más cercano de nosotros se halle a una distancia de 1,6 billón de kilómetros (1 billón de millas).

Incluso a esa distancia (muy cercana, según las normas astronómicas), queda mucho espacio todavía para su maniobrabilidad, y no es probable que cause daños. Un miniagujero negro ha de chocar directamente para hacer daño, lo que no es necesario para un agujero negro del tamaño de una estrella. Un agujero negro del tamaño de una estrella podría pasar a una distancia considerable del Sol, pero, al pasar cerca del Sistema Solar, podría producir efectos de marea en el Sol que podrían alterar gravemente sus propiedades. También podría modificar seriamente la órbita del Sol, con resultados muy perjudiciales, o, también, perturbar de manera desastrosa la órbita de la Tierra.

Por otra parte, un miniagujero negro podría atravesar el Sistema Solar sin que se notara ningún efecto ni en el Sol ni en ninguno de los planetas mayores y sus satélites. Por lo que sabemos, una buena proporción de miniagujeros negros puede haber pasado rozándonos, y algunos de ellos incluso haber circulado por entre los planetas, sin causarnos ningún daño.

Sin embargo, ¿qué sucedería si un miniagujero negro chocara contra el Sol? En cuanto se refiere a su masa, existen muchas probabilidades de que no causaría graves efectos en el Sol. Aunque tuviera una masa semejante a la de la Luna, únicamente llegaría a 1/26.000.000 de la masa del Sol, aproximadamente lo que para cualquiera representa una gota de agua.

No obstante, no es meramente la masa lo que cuenta. Si fuese la Luna la que se dirigiera hacia el Sol en un choque inminente, a menos que la Luna se moviera con suma rapidez, cuando chocara contra el Sol ya se habría evaporado. Aunque parte de ella hubiera permanecido sólida, en el momento del encuentro no penetraría muy profundamente antes de evaporarse.

Sin embargo, un miniagujero negro no se vaporizaría ni estaría en ningún modo

afectado por el Sol. Simplemente, penetraría absorbiendo masa en su camino, con la producción de enormes cantidades de energía. Crecería a medida que avanzara y traspasaría completamente el Sol, emergiendo un miniagujero negro considerablemente mayor de lo que había penetrado.

El efecto que podría causar en el Sol es muy difícil de prever. Si el miniagujero negro golpeara tangencialmente y pasara a través de las capas superiores del Sol, el efecto no podría ser muy grave. Si el miniagujero negro chocara directamente contra el Sol, y penetrara directamente en su centro, estorbaría la zona del astro donde tiene lugar las reacciones nucleares y se produce la energía solar.

No sé qué es lo que sucedería; dependería del tiempo que el Sol necesitara para «curarse». Cabe en la posible que la producción de energía quedara interrumpida y que, antes de reanudarse, el Sol se hundiera o explotara. En cualquiera de estos casos, si esto sucedía inesperadamente y con suficiente rapidez representaría para nosotros la catástrofe absoluta.

Supongamos ahora que el miniagujero negro chocara contra el Sol a una velocidad más bien lenta en relación con la del astro. La resistencia que encontraría al pasar por entre la materia solar podría retrasarla hasta el punto en que no saliera, sino que quedara dentro del Sol, encajado en su centro.

¿Qué sucedería entonces? ¿Consumiría la materia del Sol desde dentro? En tal caso, no notaríamos la diferencia desde fuera. El Sol continuaría conservando su masa y su campo gravitacional sin ningún cambio; los planetas continuarían girando como antes, y el Sol, incluso podría seguir emitiendo su energía como si nada estuviera ocurriendo. Pero, seguramente, en un momento crucial, no quedaría suficiente materia normal para mantener al Sol en su forma presente. Todo el astro se hundiría hacia adentro de un agujero negro emitiendo una enorme cantidad de mortífera radiación que destruiría toda la vida en la Tierra. O, incluso, si podemos imaginar que de algún modo sobreviviéramos a la radiación intensa, la Tierra daría entonces vueltas alrededor de un agujero negro con toda la masa del Sol (de modo que la órbita de la Tierra no habría cambiado), agujero negro que sería demasiado pequeña para resultar visible y que no emitiría radiación útil. La temperatura de la Tierra descendería cerca del cero absoluto, lo cual nos aniquilaría.

¿Pudo haber ocurrido que un miniagujero negro chocara contra el Sol hace un millón de años y haya estado realizando su labor desde entonces? ¿Podría el Sol, sin previo aviso, hundirse en cualquier momento?

No podemos responder con un no categórico, pero recordemos que, incluso con miniagujeros negros tan numerosos como cree Hawking, son muy escasas las probabilidades de un choque contra el Sol, y más reducidas todavía las de que choque con el mismísimo centro del Sol; las probabilidades de que choque contra el centro del Sol a una velocidad tan pequeña en relación con la del astro, de modo que el miniagujero negro quede preso, son todavía menores. Además, las cifras de Hawking representan un máximo razonable. Es muy probable que los miniagujeros negros sean más escasos que todo eso, quizá considerablemente más escasos. Y eso reduciría las posibilidades en igual proporción.

De hecho, no hay ninguna evidencia respecto a la existencia de miniagujeros negros, excepto los cálculos de Hawking. No se han detectado miniagujeros negros; no se ha descubierto fenómeno alguno cuya explicación pudiera justificar la existencia de un miniagujeros negros. (Incluso la existencia de agujeros negros de tamaño estelar, como el representado por «Cygnus X-l», dependen de cierta evidencia que no ha convencido todavía a todos los astrónomos.)

Es preciso obtener más información sobre el Universo antes de que podamos resolver sensatas opiniones contrarias en relación con este tipo de catástrofe, pero podemos confiar aún en que esas opiniones pesan mucho en favor de que no se produzca una catástrofe. Después de todo, el Sol ha estado existiendo durante cinco mil millones de años sin ningún colapso; ni se ha visto por casualidad que una estrella se desvaneciese de pronto como si finalmente hubiese sido tragada por un miniagujero negro en el centro del Sol.

Antimateria y planetas libres

Un agujero negro sin compañía no es el único objeto que probablemente podría deslizarse cerca de nosotros sin previo aviso. Existe otro tipo de objeto, casi tan peligroso, pero cuya existencia es todavía más problemática.

La materia ordinaria a nuestro alrededor consiste en átomos compuestos por diminutos núcleos rodeados por electrones. Los núcleos están formados por dos tipos de partículas, protones y neutrones, cada uno de los cuales tiene un volumen algo mayor de mil ochocientas veces el de los electrones. Por consiguiente, la materia que nos rodea está compuesta por tres tipos de partículas subatómicas: electrones, protones y neutrones.

En 1930, Paul Dirac (el primero que sugirió que la gravedad podría debilitarse con el tiempo), demostró que, en teoría, deberían existir «antipartículas». Por ejemplo, debería haber una partícula como el electrón, pero con una carga eléctrica opuesta. Mientras que el electrón llevaría una carga eléctrica negativa, su antipartícula la llevaría positiva. Dos años después, el físico norteamericano Carl David Anderson (1905-) descubrió, efectivamente, este electrón de carga positiva. Fue llamado «positrón», aunque también se le conoce como «antielectrón».

A su debido tiempo fueron descubiertos también el «antiprotón» y el «antineutrón». El protón lleva una carga eléctrica positiva y el antiprotón, una carga negativa. El neutrón no lleva carga alguna, como tampoco la lleva el antineutrón, pero son opuestos en algunas otras propiedades.

El antielectrón, antiprotón y antineutrón pueden presentarse juntos para formar «antiátomos» y éstos pueden conglomerarse en «antimateria».

Si un antielectrón choca con un electrón, se aniquilarán mutuamente, y las propiedades del uno anularán las propiedades opuestas del otro, y la masa de ambos se convertirá en energía en forma de «rayos gamma». (Los rayos gamma son como los rayos X, pero tienen ondas más cortas y, por tanto, son más energéticos.) Del mismo modo, un antiprotón y un protón pueden anularse mutuamente, como lo hacen un neutrón y un antineutrón. En general, la antimateria puede aniquilar una masa equivalente de materia, cuando se encuentran.

La cantidad de energía liberada en semejante «aniquilación mutua» es enorme. La fusión de hidrógeno, tal como explota nuestra bomba de hidrógeno y transfiere energía a las estrellas, convierte en energía un 0,7 % de la materia en fusión. Sin embargo, la aniquilación mutua convierte el 100 °/o de la materia en energía. De esta manera una bomba materia-antimateria sería ciento cuarenta veces tan poderosa como una bomba de hidrógeno de la misma masa.

Y procede igualmente al revés. Es posible convertir energía en materia. Sin embargo, así como para producir energía se requiere una partícula y una antipartícula juntas, igualmente la energía, cuando se ha convertido en materia, produce siempre una partícula y una antipartícula. Al parecer, no queda otra alternativa.

En el laboratorio, el físico puede fabricar algunas partículas y antipartículas de una vez, pero en el período siguiente al *big bang,* la energía se convirtió en materia en cantidades suficientes para formar un universo entero. Sin embargo, si ocurrió así, la antimateria debió de producirse precisamente en las mismas cantidades. Y ya que así ha de ser, ¿dónde está la antimateria?

En el planeta Tierra, únicamente hay materia. Se pueden formar unas pocas partículas en el laboratorio, o están presentes en los rayos cósmicos, pero la suma que alcanzan es nula y las partículas individuales desaparecen casi en seguida tan pronto como encuentran su partícula equivalente, desprendiendo rayos gamma en la consiguiente aniquilación mutua.

Ignorando estos casos triviales, podríamos decir que toda la Tierra está compuesta de

materia, lo cual es algo bueno. Si estuviera hecha mitad de materia y mitad de antimateria, una mitad aniquilaría instantáneamente a la otra y no quedaría Tierra, únicamente una gran bola de fuego de rayos gamma. De hecho, está muy claro que todo el Sistema Solar, la galaxia entera, incluso el grupo local entero, es materia. De otro modo descubriríamos una producción de rayos gamma muy superior a la observada actualmente.

¿Puede ser posible que algunos grupos galácticos sean materia y otros antimateria? ¿Es posible que en el momento del *big bang* se formaran dos universos, uno de materia y otro de antimateria? No lo sabemos. El paradero de la antimateria es un enigma todavía por resolver. Sin embargo, si hay grupos galácticos y grupos antigalácticos, cada uno de ellos conserva su integridad porque el universo en expansión los mantiene separados a distancias cada vez mayores.

¿Podría ocurrir, quizá, que a causa de algún acontecimiento fortuito un grupo antigaláctico arrojara un fragmento ocasional de antimateria que eventualmente entrara en un grupo galáctico, o, también, que un fragmento ocasional de materia fuese arrojada de un grupo galáctico y entrara eventualmente en un grupo antigaláctico?

Sólo por su apariencia no podríamos reconocer a una antiestrella presente en nuestra propia galaxia si a su alrededor no hubiese sino un buen vacío interestelar. Sin embargo, incluso en este caso emitiría ocasionalmente rayos gamma cuando partículas de materia en el espacio reaccionaran ante las partículas de antimateria emitidas por la estrella y los dos grupos de partículas sufrieran aniquilación mutua. No se ha registrado todavía ningún fenómeno parecido, pero los cuerpos más pequeños son, por una parte, más numerosos y, por otra, más fácilmente lanzados que los mayores y podría haber en nuestra galaxia objetos ocasionales de medidas planetarias o estelares que fuesen antimateria.

¿Podría una de ellas chocar contra el Sol sin previo aviso? Después de todo, el cuerpo podría ser demasiado pequeño para ser visto a gran distancia. Y aunque se viera, no sería posible reconocerlo como antimateria hasta después del choque.

Sin embargo, no hay gran motivo para preocuparse por esta cuestión. Todavía no se ha encontrado ninguna evidencia que nos lleve a suponer que en nuestra galaxia estén errando grandes porciones de antimateria, y aunque así fuese, las posibilidades de que choquen contra el Sol no son probablemente mayores que las de los miniagujeros negros.

Incluso si un fragmento de antimateria chocara contra el Sol, el daño que causaría seguramente sería mucho más limitado que en el caso de que el choque ocurriera con un miniagujero negro de igual masa. El miniagujero negro es permanente y podría crecer indefinidamente a expensas del Sol; por otra parte, el fragmento de antimateria no puede hacer más, sino aniquilar una porción de Sol igual a su propia masa, y desaparecer.

Queda todavía un tercer tipo de objetos que podrían llegar a las proximidades del Sistema Solar sin ser vistos mucho antes de su llegada. No son ni agujeros negros ni antimateria, sino objetos muy corrientes que han escapado de nuestra atención simplemente por ser pequeños.

Podemos justificar su existencia como sigue:

Ya hemos mencionado que en cualquier tipo de cuerpo astronómico, los miembros pequeños del tipo superan en número a los miembros mayores. Así, por ejemplo, las estrellas pequeñas son mucho más numerosas que las estrellas mayores.

Las estrellas que tienen aproximadamente el tamaño del Sol (que es una estrella de tamaño medio) sólo constituyen aproximadamente un 10 % de todas las estrellas que vemos. Las estrellas gigantes con quince veces, o más, la masa del Sol, son mucho menos numerosas. Por cada estrella gigante existe un centenar de estrellas semejantes al Sol. Por otra parte, las estrellas pequeñas con la mitad de masa que el Sol, o menos, constituyen las tres cuartas partes de todas las estrellas del universo, a juzgar por su presencia corriente en nuestras proximidades (1).

Un cuerpo que únicamente posee una quinta parte de la masa de nuestro Sol, tiene únicamente la masa suficiente para romper los átomos de su centro y poner en marcha

reacciones nucleares. Semejante cuerpo sólo se calienta hasta el rojo y puede verse muy débilmente, aunque esté lo bastante cerca de nosotros basándonos en distancias estelares.

Sin embargo, no hay razón alguna para creer que existe algún límite más bajo en la formación de objetos y que este límite más bajo coincide precisamente con la masa en la que se inician las reacciones nucleares. Pueden haber existido muchas «subestrellas» que se han formado, cuerpos demasiado pequeños para iniciar reacciones nucleares en el centro o iniciarlos tan sólo hasta el límite de calentamiento a menos del calor rojo.

Reconoceríamos como planetas a esos cuerpos no brillantes si formaran parte de un sistema solar, y quizá así es como deberíamos considerarlos, como planetas que se formaron independientemente y no están sujetos a ninguna estrella, girando de manera aislada en torno del núcleo galáctico.

Semejantes «planetas libres» es probable que se hayan formado en número muy superior al de las propias estrellas y pueden ser objetos muy corrientes, y, sin embargo, ser ignorados por nosotros, tal como ocurriría con los planetas de nuestro sistema, a pesar de su proximidad si no sucediera que reflejan luz del sol cercano.

Por consiguiente, ¿cuáles son las posibilidades de que uno de esos planetas libres entre en nuestro Sistema Solar y cree el caos?

Los mayores planetas libres deberían ser, por lo menos, tan corrientes como las estrellas menores, pero, considerando la enormidad del espacio interestelar, no son suficientemente corrientes para que exista una gran probabilidad de su encuentro con nosotros. Los planetas libres menores deberían ser más numerosos, y los más pequeños aún, también más numerosos que los anteriores. Por tanto, se deduce que, cuanto menor es un objeto, tanto mayor es la probabilidad de su encuentro con el Sistema Solar.

Es muy verosímil que los planetas libres de tamaño asteroidal invadan con más facilidad el Sistema Solar que la probabilidad existente de que lo hagan las miniagujeros negros de problemática existencia o la antimateria. Pero también los planetas libres son muchísimo menos peligrosos que ninguno de esos dos objetos. Los miniagujeros negros absorberían materia por tiempo indefinido si chocaran contra el Sol, mientras que la antimateria aniquilaría materia. Los planetas libres, compuestos de materia corriente, simplemente se evaporarían.

Si tuviésemos que descubrir la presencia de un asteroide en ruta para un encuentro con el Sol, no podríamos decir si el objeto es un invasor del espacio interestelar o uno desarrollado entre nuestra propia variedad que hasta aquel momento no hubiésemos observado, o uno cuyo órbita se hubiese alterado en el curso de una colisión.

Es posible que tales objetos invasores hayan pasado innumerables veces por el Sistema Solar sin causarnos daño alguno. Algunos objetos pequeños en los límites del Sistema Solar, con órbitas sospechosamente irregulares, es probable que sean planetas libres capturados en ruta. Podrían incluir el satélite exterior de Neptuno, Nereida; el satélite más exterior de Saturno, Febe; y el curioso objeto, Chirón, descubierto en 1977, que gira alrededor del Sol en una órbita elíptica situada entre las de Saturno y Urano.

De hecho, por lo que sabemos, Plutón y su satélite (este último descubierto en 1978) pudieron haber constituido un «sistema solar» independiente, diminuto, que fue capturado por el Sol. Esto justificaría la sorprendente inclinación anormal y la excentricidad de la órbita de Plutón.

Queda todavía otro posible tipo de encuentro con objetos del espacio interestelar, encuentros con objetos tan pequeños que son verdaderas partículas de polvo o átomos individuales. Las nubes interestelares de semejante polvo y gas son corrientes en el espacio, pues no sólo el Sol puede «chocar» contra tales objetos, sino que sin duda alguna esto ha sucedido en muchas ocasiones en el pasado. No ha podido apreciarse ningún efecto sobre el Sol a causa de tales colisiones, pero necesariamente no sucede lo mismo para nosotros. Éste es un tema del que volveremos a tratar más adelante en esta obra.

Capítulo VI

LA MUERTE DEL SOL

La fuente de energía

Las posibles catástrofes de segunda clase provocadas por la invasión de objetos procedentes del exterior de nuestro Sistema Solar no demuestran tener especiales consecuencias. En algunos casos las probabilidades son tan escasas que es mucho más probable que nos veamos afectados anteriormente por una catástrofe de primera clase, como la formación del «huevo cósmico». En otros casos, las invasiones parecen tener probabilidades más elevadas, pero su potencialidad es menor para poder dañar a nuestro Sol.

En este caso, ¿podemos eliminar por completo la razonable posibilidad de catástrofes de segunda clase? ¿Podemos tener la certeza de que nuestro Sol está completamente seguro para siempre, o que, por lo menos, lo estará mientras dure el universo?

Rotundamente, no. Aunque no se produjeran intrusiones del exterior, existen razones para suponer que el Sol no está seguro, y que una catástrofe de segunda clase, que afectara a la propia integridad del Sol, no tan sólo es posible, sino inevitable.

En tiempos precientíficos, el Sol era considerado como un dios beneficioso, de cuya luz y calor amistosos la Humanidad, y toda la vida, dependían. Se observaban con gran minuciosidad sus movimientos en el cielo y se vio que su camino se elevaba hasta alcanzar la cima el 21 de junio (solsticio de verano en el hemisferio Norte), continuaba entonces bajando en el cielo hasta su máximo descenso el 21 de diciembre (solsticio de invierno), y el ciclo se repetía después.

Ya en las culturas prehistóricas parecen haber existido sistemas para comprobar la posición del Sol con una notable exactitud; por ejemplo, las piedras de Stonehenge parecen estar alineadas para marcar, entre otras cosas, la hora del solsticio de verano.

Naturalmente, antes de que se comprendiesen la verdadera naturaleza de los movimientos y orientación de la Tierra, no se podía confiar que, en un año determinado, el Sol, al descender hacia el solsticio de invierno, no continuara descendiendo indefinidamente y desapareciera, poniendo punto final a toda la vida. Por este motivo, en los mitos escandinavos el final definitivo está anunciado por el *Fimbulwinter,* cuando el sol desaparece y sigue un terrible período de oscuridad y frío que dura tres años, después de lo cual viene el Ragnarok y el final. Incluso en los climas más soleados, en donde la fe en el beneficio perpetuo del Sol debería ser naturalmente más sólida, en el período de solsticio de invierno, cuando el Sol detiene su declive y comenzaba su ascenso por los cielos, una vez más se presentaba la ocasión de grandes expresiones de alivio.

La celebración del solsticio de los tiempos antiguos más conocida de nosotros es la de los romanos. Los romanos creían que su dios de la agricultura, Saturno, había gobernado la Tierra durante una antigua edad dorada de ricas cosechas y abundante alimento. Así, durante la semana del solsticio de invierno, con su promesa del retorno del verano y de la dorada época de la agricultura saturniana, se celebraba la «Saturnalia», desde el 17 de diciembre hasta el 24. Eran días en que reinaban la alegría y el gozo. Se cerraban los comercios, para que nada interfiriera con la celebración, y se repartían regalos. Eran unos días de hermandad, pues los sirvientes y los esclavos recibían libertad temporal y se les permitía unirse a sus amos en la celebración.

La Saturnalia no desapareció. A medida que el Cristianismo fortalecía su poder en el Imperio romano, se hizo evidente que no podía esperar ahogar la alegría en el nacimiento del Sol. Por tanto, algún tiempo después, el año 300 d. de JC, el Cristianismo absorbió la celebración declarando arbitrariamente que el día 25 de diciembre fue el día del nacimiento de Jesús (algo para lo cual no tenemos absolutamente ninguna garantía bíblica). De este modo, la

celebración del nacimiento del Sol se convirtió en una fiesta que conmemora el nacimiento del Hijo (1).

Naturalmente, el pensamiento cristiano no podía otorgar divinidad a cualquier objeto del universo visible, de modo que el Sol fue derrocado de su posición divina. Sin embargo, el derrocamiento fue mínimo. El Sol continuó siendo, considerado como una esfera perfecta de luz celestial, perpetua e inmutable, desde el instante en que Dios lo creó en el cuarto día de la Creación hasta el momento en que, en el incierto futuro, Dios quiera ponerle fin. Mientras existiera, sería, en su esplendor y brillo inmutables, el símbolo visible de Dios más inequívoco.

La primera intrusión de la ciencia en este cuadro mítico del Sol fue el descubrimiento de Galileo, en 1609, de que hay manchas en el Sol. Sus observaciones demostraban claramente que las manchas formaban parte de la superficie solar y que no se trataba de nubes que oscurecieran la superficie. Cuando el Sol perdió su perfección, aumentaron también las dudas respecto a su condición de perpetuidad. Cuanto más aprendían los científicos sobre la energía de la Tierra, tanto más reflexionaban sobre el origen de la energía del Sol.

En 1854, Helmholtz, uno de los importantes descubridores de la ley de conservación de la energía, se dio cuenta de que era vital descubrir el origen de la energía del Sol, o no podría mantenerse la ley de la conservación. Un origen que le pareció razonable fue el campo gravitacional. El Sol, sugirió Helmholtz, se contraía continuamente por el impulso de su propia gravedad y la energía de ese movimiento de todas sus partes hacia dentro quedaba convertida en radiaciones. Si así fuese, y si el suministro de energía del Sol era finito (como claramente tenía que ser) tuvo que haber un principio y habría también un final del Sol (1).

Al principio, según la teoría de Helmholtz, el Sol debió de haber sido una nebulosa muy delgada y su contracción lenta bajo un campo gravitacional poco intenso todavía produciría poca energía radiante. Únicamente a medida que la contracción continuó y el campo gravitacional, aunque igual en su fuerza total, quedó concentrado en un volumen menor y, por consiguiente, más intenso, la contracción se hizo con la rapidez suficiente para liberar el tipo de energía que nos es familiar.

Hace sólo unos veinticinco millones de años que el Sol se contrajo hasta un diámetro de trescientos millones de kilómetros (186 millones de millas) y sólo después se contrajo hasta un tamaño inferior a la órbita de la Tierra. La Tierra debió de ser formada en algún momento posterior a los veinticinco millones de años.

En el futuro, el Sol tendría que morir, pues eventualmente se contraería hasta el punto de que no podría contraerse más y entonces se consumiría su fuente de energía y dejaría de irradiar, pero se convertiría en un cuerpo frío, muerto, lo que ciertamente al enfriarse representaría una catástrofe definitiva para nosotros. Considerando que el Sol ha necesitado veinticinco millones de años para contraerse desde el tamaño de la órbita de la Tierra a su tamaño presente, parece seguro que no podría ocurrir nada en unos doscientos cincuenta mil años y que ése sería todo el tiempo de vida que quedaría en la Tierra.

Los geólogos que estudiaron los cambios muy lentos de la corteza terrestre, estaban convencidos de que la Tierra tendría más de veinticinco millones de años. Los biólogos, que estudiaron igualmente los cambios lentos de la evolución biológica, también estaban convencidos de esto. Sin embargo, parecía no haber otra energía para escapar del razonamiento de Helmholtz, sino rechazar la ley de conservación de la energía y encontrar una nueva mayor fuente de energía para el Sol. Era la segunda alternativa que salvó la situación. Fue hallada una nueva fuente de energía.

En 1896, el físico francés Antoine Henri Becquerel (1852-1908) descubrió la radiactividad y rápidamente resultó que había un insospechado y enorme aporte de energía dentro del núcleo del átomo. Si de algún modo el Sol pudiera dar salida a este aporte de energía, no era necesario suponer que estaba sometido a una constante contracción. Quizá podía irradiar a expensas de la energía nuclear durante dilatados períodos de tiempo sin cambiar mucho su tamaño.

La simple declaración de que el Sol (y por extensión, las estrellas) funciona mediante energía nuclear carece de convicción. ¿De qué manera dispone el Sol de esta energía nuclear?

Ya en 1862, el físico sueco Anders Jonas Angstrom (1814-1874) había observado la presencia de hidrógeno en el Sol por análisis espectroscopio). Gradualmente se supo que este elemento, el más simple, era muy común en el Sol. En 1929, el astrónomo americano Henry Norris Russell (1877-1957) demostró que, de hecho, en el Sol predominaba el hidrógeno. Ahora sabemos que un 75 % de su masa está formada por hidrógeno y un 25 % de helio (el segundo elemento más simple) con otras pequeñas cantidades de átomos más complicados, en fracciones de porcentaje. Por eso simplemente queda claro que si en el Sol existen reacciones nucleares responsables de su energía radiante, esas reacciones se deben al hidrógeno y al helio. Ninguna otra cosa se halla en cantidad suficiente para tener importancia.

Entretanto, a principios de la década de los veinte, el astrónomo inglés Arthur S. Eddington (1882-1944) demostró que la temperatura en el centro del Sol llegaba a millones de grados. A esta temperatura los átomos se rompen, los electrones que los rodean se separan, y los núcleos desnudos pueden chocar unos contra otros con fuerza suficiente para iniciar reacciones nucleares.

En efecto, el Sol comienza como una nube delgada de polvo y gas, según la hipótesis de Helmholtz. Lentamente se contrae liberando energía radiante en el proceso. Sin embargo, no es hasta haberse contraído a un tamaño como el actual cuando se calienta lo bastante en su centro para iniciar las reacciones nucleares y comenzar a brillar como actualmente le vemos. Cuando ocurre esto, retiene su tamaño y su intensidad radiante durante un largo tiempo.

Por último, en 1938, el físico germano-americano Hans Albrecht Bethe (1906-), utilizando datos de laboratorio respecto a las reacciones nucleares, demostró la probable naturaleza de las reacciones en el centro del Sol que producían su energía. Implicaba la conversión de núcleos de hidrógeno en núcleos de helio («fusión de hidrógeno») por medio de unos cuantos pasos bien definidos.

La fusión de hidrógeno suministra una cantidad adecuada de energía para mantener brillante el Sol en su proporción actual y durante un dilatado período de tiempo. Los astrónomos están de acuerdo actualmente en que el Sol ha estado brillando como ahora durante un período de casi cinco mil millones de años. Se cree ahora que la Tierra y el Sol, y el Sistema Solar en general, han venido existiendo en la forma reconocible en que existen hoy, durante unos cuatro mil millones de años. Esto satisface las necesidades de tiempo de geólogos y biólogos durante el que hayan podido tener lugar los cambios que han observado.

También significa que el Sol, la Tierra y el Sistema Solar en general pueden continuar existiendo (si del exterior no llega interferencia), durante miles de millones de años más.

Gigantes rojos

Aunque la energía nuclear proporcione energía al Sol, esto simplemente retrasa el final. Aunque el suministro de energía dure miles de millones de años en vez de cientos de miles, eventualmente debe llegar a su final.

Hasta la década de los cuarenta, se suponía que, cualquiera que fuese la fuente de energía del Sol, la disminución gradual de esa energía significaba que el Sol se enfriaría algún día y que finalmente se debilitaría y oscurecería de modo que la Tierra se helaría en un *Fimbulwinter* infinito. Sin embargo, se estudiaron nuevos métodos para investigar la evolución estelar, y se demostró que esa catástrofe del frío era un cuadro inadecuado del final.

Una estrella está en equilibrio. Su propio campo gravitacional produce una tendencia a la contracción, mientras que el calor de las reacciones nucleares en su centro produce una tendencia a la expansión. Una equilibra a la otra, y mientras continúan las reacciones nucleares, se mantienen el equilibrio y la estrella permanece visiblemente sin cambios.

Cuanto mayor es la masa de una estrella, tanto más intenso es su campo gravitacional

y mayor su tendencia a contraerse. Para que esa estrella permanezca en volumen equilibrado, ha de experimentar reacciones nucleares en mayor proporción para poder desarrollar una temperatura más elevada necesaria para equilibrar la mayor gravedad.

Por tanto, cuanto más pesada es una estrella, tanto más caliente ha de estar y más rápidamente debe consumir su combustible nuclear básico, el hidrógeno. De todas maneras, una estrella más masiva contiene más hidrógeno del contenido en una estrella menos masiva, pero esto no importa. Al avanzar en nuestra investigación, sobre estrellas masivas, descubrimos que la proporción con que el combustible ha de consumirse para equilibrar la gravedad, aumenta de un modo considerablemente más rápido de lo que aumenta el contenido de hidrógeno. Esto significa que una estrella masiva consume su gran suministro de hidrógeno con más rapidez que una estrella pequeña agota su suministro de hidrógeno. Cuanto más masiva es la estrella, tanto más rápidamente consume su combustible y más pronto pasa por los diversos niveles de su evolución.

Supongamos que se estudian grupos de estrellas, no grupos globulares que contienen tantas estrellas que no pueden estudiarse convenientemente las individuales, sino «grupos abiertos», que tan sólo contienen desde unos centenares a unos millares de estrellas, diseminadas a distancias suficientes para permitir un estudio individual. Por el telescopio puede verse aproximadamente un millar de esos grupos, y algunos, como las Pléyades, se hallan lo suficientemente cerca para que sus miembros más brillantes puedan verse a simple vista.

Todas las estrellas de un grupo abierto es probable que se formaran más o menos al mismo tiempo de una gran nube de polvo y gas. Sin embargo, partiendo de ese mismo punto, las más masivas han progresado más aprisa en el camino de la evolución en comparación con las menos masivas, y sobre ese camino podría obtenerse un espectro completo de posiciones. Realmente, el camino vendría señalado si la temperatura y el brillo total están delineados contra la masa. Contando con eso como guía, los astrónomos pueden utilizar sus crecientes conocimientos con respecto a las reacciones nucleares, para comprender lo que sucede dentro de una estrella.

Aunque una estrella deberá enfriarse finalmente, pasa por un largo período durante el cual se calienta. A medida que el hidrógeno se convierte en helio en el centro de la estrella, el centro se enriquece cada vez más con helio, y por tanto, se hace más denso. La creciente densidad intensifica el campo gravitacional en el centro, que se contrae, y, en consecuencia, se calienta más. Gradualmente, toda la estrella se calienta por esa razón, de manera que, mientras el centro se contrae, la estrella, como un todo, sufre una ligera expansión. Es probable que el centro esté tan caliente que se provoquen nuevas reacciones nucleares. Los núcleos de helio dentro de él comienzan a formar nuevos y más complejos núcleos de elementos más elevados, como carbón, oxígeno, magnesio, silicio, y así sucesivamente.

En aquel momento, el centro está ya tan caliente que el equilibrio se ha inclinado totalmente hacia la expansión. La estrella, como un todo, comienza a agrandarse a un paso acelerado. En su expansión, aumenta la totalidad de la energía irradiada por la estrella, pero esa energía se esparce sobre una vasta superficie que aumenta de volumen todavía más rápidamente. Por tanto, la temperatura de cualquier porción individual de la superficie de incremento rápido se reduce. La superficie se enfría hasta el punto que brilla únicamente al rojo candente en vez de al blanco candente, como en la estrella joven.

El resultado es un «gigante rojo». En el cielo existen actualmente algunas estrellas así. La estrella Betelgeuse de Orión es un ejemplo, y Antares de Escorpio, otro.

Todas las estrellas, antes o después, alcanzan el nivel de rojo gigante; las más masivas lo alcanzan más pronto; las menos, masivas, más tarde.

Hay algunas estrellas que son tan enormes, masivas y luminosas que seguirán en el nivel estable fusión de hidrógeno (llamado normalmente «la secuencia principal») durante algo menos de un millón de años antes de dilatarse y convertirse en gigante rojo. Hay otras estrellas tan pequeñas, poco masivas y débiles, que permanecerán en la secuencia principal

por un tiempo tan largo como doscientos mil millones de años antes de convertirse en gigantes rojos.

El tamaño de los gigantes rojos depende también de su masa. Cuanto más masiva es una estrella, tanto más voluminosa crecerá. Una estrella realmente masiva se dilataría hasta un diámetro muchos centenares de veces el del diámetro actual de nuestro Sol, mientras que estrellas muy pequeñas se dilatarían quizás unas pocas docenas de veces su diámetro.

¿En qué lugar de esta escala se encuentra nuestro Sol? Es una estrella de masa intermedia, lo que significa que tiene un tiempo de vida de la secuencia principal, es decir de longitud intermedia. Es posible que llegue a convertirse en un gigante rojo de tamaño intermedio. Para una estrella con la masa del Sol, el período total de tiempo que pasarán la secuencia principal, fusionando hidrógeno silenciosa y continuamente, puede llegar a un tiempo de hasta trece mil millones de años. Ya ha permanecido en la secuencia principal casi cinco mil millones de años, lo cual significa que el tiempo que le queda es algo más de ocho mil millones de años. Durante todo este tiempo, el Sol (como cualquier otra estrella) está sufriendo un calentamiento lento. En los últimos millones de años, más o menos, de su secuencia principal, el calentamiento seguramente habrá llegado al nivel en que la vida terrestre no podrá soportar el calor. Consecuentemente, sólo podemos contar con siete mil millones de años, a lo sumo, durante los cuales dispondremos de un sol dispensador de vida merecedor de una Saturnalia.

Aunque siete mil millones de años no son un período corto, es mucho más corto de lo que se requiere para la llegada de una catástrofe de primera clase.

Cuando el Sol comience a elevarse hacia el nivel de gigante rojo y la vida en la Tierra se haga imposible, aún tardará cerca de un billón de años el próximo «huevo cósmico». Al parecer, el total de permanencia del Sol en la secuencia principal no puede llegar más allá del 1 °/o de la vida del Universo, de un «huevo cósmico» al siguiente.

Por consiguiente, en el momento en que la Tierra deje de ser adecuada para la vida en ella (después de haber servido durante unos diez mil millones de años), el Universo como conjunto no será mucho más viejo de lo que es ahora y se sucederán muchas generaciones de estrellas y planetas, que todavía no han nacido, esperando hacerse cargo de su papel en el drama cósmico.

Suponiendo que la Humanidad todavía exista en la Tierra dentro de siete mil millones de años (una suposición nada fácil naturalmente), es posible que trate de eludir esta catástrofe puramente local y siga ocupando un Universo floreciente todavía. La evasión no será fácil, ya que, ciertamente, no encontrará ningún refugio en la Tierra. Cuando el Sol alcance el cenit de su voluminoso gigantismo rojo, se dilatará a un diámetro más de cien veces superior al actual, de modo que tanto Venus como Mercurio quedarán absorbidos en su sustancia. Puede ser que la Tierra quede fuera del volumen aumentado del Sol, pero, aunque así sea, es muy probable que quede vaporizada por el enorme calor que recibirá del sol gigante.

No obstante, aunque sea así, no todo estará perdido. Por lo menos, existe una advertencia amplia. Si la Humanidad sobrevive esos miles de millones de años, durante ese mismo período de miles de millones de años sabrá que debe elaborar un plan para poder escapar de alguna manera. A medida que aumente su competencia tecnológica (y considerando lo lejos que ha llegado en los últimos doscientos años, imaginemos hasta dónde puede llegar en el curso de siete mil millones) es posible que el poder escapar se haga realidad.

Aunque el Sistema Solar interior quede devastado por la expansión del Sol, los planetas gigantes del Sistema Solar exterior sufrirán menos. Incluso, desde el punto de vista de las normas humanas podrían experimentar cambios para mejorar. Quizá la Humanidad pueda emplear mucho tiempo y pericia para rediseñar algunos de los mayores satélites de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, para que puedan vivir en ellos los seres humanos. (Este proceso ha sido llamado algunas veces *terra-forming)* (1).

Habrá mucho tiempo para reinstalarse. Cuando la expansión del Sol comience a

precipitarse y la Tierra empiece a sufrir la calcinación final para convertirse en irrevocable desierto, la Humanidad ya puede estar instalada en una docena de los mundos exteriores del Sistema Solar, desde los satélites de Júpiter, como Ganímedes y Calixto, hasta el propio Plutón. Allí, los seres humanos podrán recibir calor del enorme sol rojo en el espacio, sin ser recalentados. Desde Plutón, el gigante rojo solar no parecerá mucho mayor de lo que parece ahora en el cielo de la Tierra.

Y lo que es más, es probable que los seres humanos establezcan estructuras artificiales en el espacio capaces de alojar colonias de diez mil a diez millones de seres humanos, cada colonia completa ecológicamente, e independiente. Esa empresa no requerirá miles de millones de años, puesto que todo indica que ahora ya poseemos la capacidad tecnológica suficiente para construir tales establecimientos, y en unos pocos siglos podríamos llenar el espacio con ellos. Los únicos obstáculos están representados por factores políticos, económicos y psicológicos (aunque son unos enormes «únicos»).

Así se evitará la catástrofe, y la Humanidad, en sus nuevos mundos, naturales y artificiales igualmente, puede continuar su supervivencia.

Por lo menos, de manera temporal.

Enanas blancas

Cuando la fusión del hidrógeno deja de ser la fuente principal de la energía de una estrella, esa estrella puede mantenerse como un gran objeto sólo durante un corto período adicional relativamente. La energía obtenida por la fusión de helio a grandes núcleos y éstos convertidos en otros mayores todavía, no llega a sumar más del 5 % de lo que se disponía por la fusión del hidrógeno. Por tanto, después de un tiempo relativamente corto, falla la capacidad del gigante rojo para mantenerse distendido contra el impulso de la gravedad. La estrella comienza a hundirse.

El tiempo de vida de un gigante rojo y la naturaleza de su colapso depende de la masa de la estrella. Cuanto mayor es la masa, tanto más rápidamente el gigante rojo utilizará los últimos residuos de energía de que disponga a través de la fusión, y tanto más corta será su vida. Y lo que es más, cuanto mayor es la masa, tanto mayor y más intenso será el campo gravitacional y tanto más rápida será la contracción cuando llegue.

Cuando una estrella se contrae, queda todavía mucho hidrógeno en sus capas exteriores en donde las reacciones nucleares no han tenido lugar, y en donde, por tanto, el hidrógeno ha permanecido intacto. La contracción calentará toda la estrella (ahora es energía gravitacional convertida en calor, *a la* Helmholtz, no energía nuclear), así que la fusión comenzará en esas capas exteriores. De esta manera, el proceso de contracción coincide con un período de brillantez en el exterior.

Cuanto más masiva es la estrella, tanto más rápida es la contracción y más intenso el calentamiento en las capas exteriores, más hidrógeno para fusión y más rápidamente se fusiona, y tanto más violentos son los resultados. En otras palabras, una estrella pequeña se contraería suavemente, pero una gran estrella sufriría de suficiente fusión en sus capas más exteriores para arrojar parte de su masa exterior al espacio, haciéndolo más o menos explosivamente, y dejando que se contrajeran sólo las regiones interiores.

Cuanto más masiva la estrella, tanto más violenta la explosión. Si la estrella es lo suficientemente masiva, el período de gigante rojo terminará con una violenta explosión de magnitud inimaginable, durante la cual una estrella puede brillar brevemente con una luz igual en muchos miles de millones de veces la intensidad de una estrella ordinaria; en pocas palabras, con un esplendor igual a toda la galaxia de estrellas no explosivas. Durante semejante explosión, llamada «supernova», hasta un 95 % de la materia de una estrella puede ser arrojada al espacio exterior. Lo que quede se contraerá.

¿Qué sucede a la estrella en contracción que no explota o a la porción de una estrella

que explota que se retrasa y se contrae? En el caso de la estrella pequeña que nunca se calienta lo suficiente en el curso de la contracción para poder explotar, se contraerá hasta alcanzar dimensiones simplemente planetarias, reteniendo, no obstante, toda o casi toda su masa original. Su superficie tiene un resplandor de calor blanco, considerablemente más caliente que la superficie de nuestro Sol en este momento. A distancia, esa estrella contraída parece débil, sin embargo, porque el resplandor de la luz irradia desde una superficie muy pequeña. Semejante estrella es una «enana blanca».

¿Por qué no sigue encogiéndose la enana blanca? En una enana blanca se han roto los átomos y los electrones ya no forman envoltura alrededor de los núcleos atómicos centrales, sino una especie de «gas electrón» que no puede contraerse más. Mantiene distendida la materia de la estrella, por lo menos al tamaño planetario y puede hacerlo así por tiempo indefinido.

La enana blanca llega a enfriarse al final, muy lentamente, y acaba su vida siendo demasiado fría para irradiar luz, de modo que se convierte en una «enana negra».

Cuando una estrella se contrae y se convierte en una enana blanca, si no es muy pequeña, puede arrojar de sí las regiones exteriores de su propio gigante rojo, al contraerse, provocando una suave explosión de escasas proporciones, perdiendo de este modo hasta una quinta parte de su masa total. Vista a distancia la enana blanca que se forma parece que está rodeada por una niebla luminosa, casi como un anillo de humo. Semejante objeto se llama «nebulosa planetaria», y en el espacio existe un buen número de ellas. Poco a poco, la nube de gas se dispersa en todas direcciones, se aclara, y desaparece en la materia del espacio interplanetario.

Cuando una estrella es suficientemente masiva para explotar con violencia durante el proceso de contracción, el resto que se contrae puede ser todavía demasiado masivo, incluso después de la pérdida considerable de masa en la explosión, para formar una enana blanca. Cuanto más masivo es el resto en contracción, tanto más se comprime contra sí mismo el gas electrón, y tanto más pequeña es la enana blanca.

Finalmente, si hay masa suficiente, el gas electrón no puede resistir la presión sobre sí mismo. Los electrones se comprimen en los protones presentes en los núcleos que vagan por el gas electrón, y se forman los neutrones. Éstos se suman a los neutrones que ya existen en los núcleos, y la estrella en ese momento consiste primordialmente en neutrones y nada más. La estrella se contrae hasta que esos neutrones entran en contacto. El resultado es una «estrella neutrón», que alcanza sólo el tamaño de un asteroide, quizá de diez a veinte kilómetros de diámetro, pero que conserva la masa de una estrella de gran tamaño.

Si el resto de la estrella en contracción todavía es más masivo, en ese caso ni los neutrones podrán resistir el impulso gravitacional. Estallarán y el resto se contraerá todavía más en un agujero negro.

¿Cuál puede ser, en este caso, el destino del Sol cuando llegue a su nivel de gigante rojo?

Puede continuar siendo un gigante rojo durante doscientos millones de años, un intervalo muy breve en la escala de los tiempos de vida estelar, pero que proporciona a la civilización un largo período de tiempo para desarrollarse en otros mundos exteriores forma-Tierra y en las instalaciones espaciales, y entonces se contraerá. No será lo suficientemente grande para explotar violentamente de modo que no existirá el peligro de que en un día o una semana de furia, la vida en el Sistema Solar quede aniquilada hasta la órbita de Plutón y más allá. No hay peligro. El Sol se contraerá simplemente, dejando detrás de él, cuanto más, una delgada película de su capa exterior, convirtiéndose en una nebulosa planetaria.

La nube de materia irá a la deriva por los planetas distantes que hemos imaginado albergarán a los descendientes de la Humanidad en tiempos del futuro lejano, y es probable que no represente ningún peligro para ellos. Se tratará simplemente de un gas claro, y además, si, como puede llegar a ser cierto, las colonias humanas viven bajo tierra o en ciudades cubiertas, sea como fuere no podría causarles ningún perjuicio.

El problema real radicará en el Sol que se contrae. Cuando se haya encogido convirtiéndose en una enana blanca (no es suficientemente masiva para formar una estrella neutrón y, ciertamente, nunca un agujero negro) no será más que un pequeño punto de luz en el espacio. Visto desde los satélites de Júpiter, si los humanos han conseguido establecerse a esa cercana distancia del Sol durante su período de gigante rojo, tan sólo será 1/4.000 brillante de lo que ahora se nos aparece en la Tierra, y también sólo proporcionará esa fracción de energía.

Si los establecimientos humanos en el Sistema Solar exterior dependen del Sol para su energía, no obtendrán la energía suficiente para mantenerse cuando el astro se haya convertido en una enana blanca. Tendrán que trasladarse a una distancia mucho más cercana, y no podrán hacerlo si para ello necesitan un planeta, ya que los cuerpos planetarios del Sistema Solar interior se habrán arruinado o destruido directamente en la fase de gigante rojo precedente de la existencia del Sol. Quedarán, pues, únicamente los establecimientos espaciales artificiales que sirvan de refugio para la Humanidad en los tiempos venideros.

Cuando se construyan esas colonias (quizás en el próximo siglo, o aproximadamente), se moverán en órbitas alrededor de la Tierra, utilizando como su fuente de energía la radiación solar, y a la Luna como proveedora de la mayor parte de sus materias primas. Algunos elementos esenciales ligeros, carbón, nitrógeno e hidrógeno, que no están presentes en la Luna en gran cantidad, habrán de ser obtenidos de la Tierra.

Ya se ha previsto que, probablemente, esas instalaciones espaciales se construirán en el cinturón de asteroides en donde será más fácil obtener aquellos elementos vitales más ligeros, sin tener que caer en una peligrosa dependencia con la Tierra.

Es posible que como instalaciones espaciales se conviertan en más reservadas y más móviles, y como la Humanidad prevé más claramente la dificultad de permanecer atada a superficies planetarias en vista de las vicisitudes que el Sol deberá soportar en sus últimos días, las instalaciones espaciales pueden convertirse en el habitáculo preferido de la Humanidad. Es comprensible que mucho antes de que el Sol comience a causarnos molestias la mayor parte de toda la Humanidad se haya liberado totalmente de las superficies de los planetas naturales y viva en el espacio, en mundos y ambientes que ella misma haya escogido.

Quizás entonces ya no será cuestión de otros mundos a semejanza de la Tierra, para poder sobrevivir al gigantismo rojo del Sol. Pudiera ser que en dicha época la solución pareciera muy torpe e innecesaria. En su lugar, a medida que el Sol aumentara su calor las instalaciones espaciales ajustarían sus órbitas adecuadamente y muy lentamente se irían alejando.

Esto no es nada difícil de imaginar. La órbita de un mundo como la Tierra es casi imposible de modificar a causa de su enorme masa y, por tanto, su gran *momentum* y un *momentum* angular, que es imposible de llevar a cabo añadiendo o restando una cifra suficiente para alterar notablemente su órbita. Y la masa de la Tierra es necesaria, si ha de poseer un campo gravitacional que sostenga un océano y una atmósfera en su superficie haciendo de este modo posible la vida en ella.

En una instalación espacial, la masa total es insignificante comparada con la de la Tierra, ya que la gravitación no se utiliza para retener agua, aire y todo lo demás. En cambio, todo queda retenido al estar cerrado mecánicamente dentro de una pared exterior, y el efecto de gravitación de la superficie interior de esa pared se producirá por el efecto centrífugo originado por la rotación.

Por consiguiente, la instalación espacial puede cambiar su órbita utilizando una cantidad razonable de energía y alejarse del Sol cuando éste aumente su calor y se dilate. En teoría, puede acercarse al Sol cuando el astro rey se contraiga y suministre menos energía total. Sin embargo, la contracción será mucho más rápida que la previa expansión. Además, todas las instalaciones espaciales que puedan existir durante el período de gigante rojo del Sol, al acercarse demasiado a la enana blanca puede representarles una reducción de volumen menor del que les interesa. Pueden haberse acostumbrado ya durante millones de años a los

espacios ilimitados de un gran sistema solar.

También está dentro de lo posible que mucho antes de que llegue esa época de enana blanca, los colonizadores espaciales hayan desarrollado unas estaciones de fuerza motriz por fusión de hidrógeno como fuente de energía y sean independientes del Sol. En ese caso podrían incluso escoger el abandonar también el Sistema Solar.

Si una cifra importante de colonias espaciales abandonan el Sistema Solar, convirtiéndose en «planetas libres» autopropulsados, esto significaría que la Humanidad quedaría libre del peligro de las catástrofes de segunda clase y que podría continuar viviendo (y distribuyéndose por el Universo en un grado infinito) hasta la llegada de la contracción universal en un «huevo cósmico».

Supernovas

Las razones principales por las cuales la muerte del Sol (muerte, en el sentido de que se convertirá en algo por completo diferente del astro que conocemos) no ha de ser necesariamente una catástrofe para la especie humana, son: 1) que la inevitable expansión y la contracción subsiguiente del Sol están tan lejos en el futuro que para entonces los seres humanos probablemente habrán desarrollado los medios tecnológicos necesarios para escapar, suponiendo que todavía sobrevivan y 2) que los cambios son tan previsibles que no hay la menor posibilidad de que sean sorprendidos.

Por tanto, lo que ahora hemos de considerar son los posibles modos en que las catástrofes de segunda clase (en relación al Sol, o, por extensión, a una estrella) pudieran sorprendernos, y, peor todavía, que ocurriera en un futuro próximo antes de que hayamos tenido la oportunidad de desarrollar las necesarias defensas tecnológicas.

Hay estrellas que sufren cambios catastróficos, por ejemplo estrellas que brillan en el proceso, incluso desde una Divisibilidad y se debilitan de nuevo algunas veces hasta la invisibilidad. Son las «novas» (de la palabra latina «nuevo», ya que parecían ser estrellas nuevas para los antiguos astrónomos que carecían de telescopios). La primera de éstas fue mencionada por el astrónomo griego Hiparco (190-120 a. de JC).

Las novas extraordinariamente brillantes son las «supernovas» a las que ya nos hemos referido, nombre que por primera vez utilizó el astrónomo suizo-americano Fritz Zwicky (1898-1974). La primera discutida en detalle por los astrónomos europeos fue la supernova del año 1572.

Supongamos, por ejemplo, que no es el Sol el que se acerca al final de su vida en la secuencia principal, sino cualquier otra estrella. Aunque nuestro Sol se halla todavía en los inicios de su edad media, alguna estrella cercana podría ser vieja y estar a punto de morir. ¿Podría alguna supernova cercana resplandecer de repente, cogernos por sorpresa, y afectarnos de manera catastrófica?

Las supernovas no son corrientes; sólo una estrella de cada ciento es capaz de explotar como una supernova, y de ellas, únicamente unas cuantas están en los últimos períodos de sus tiempos de vida, y un número más pequeño todavía se hallan lo bastante cerca para ser vistas como estrellas anormalmente brillantes. (Antes de inventarse el telescopio, una estrella tenía que ser muy brillante para ser vista por los observadores como algo que apareciera en donde antes no había ninguna estrella visible.) Sin embargo, las supernovas pueden aparecer y así lo han hecho en el pasado, naturalmente, sin previo aviso.

Una supernova notable, que apareció en el cielo en tiempos históricos, brilló en el 4 de julio del 1054, sin ninguna duda, los fuegos artificiales más extraordinarios que se han conocido para celebrar el Glorioso Cuatro de Julio, aunque 722 años antes del acontecimiento. Esta supernova del año 1054 fue observada por astrónomos chinos, pero no por los astrónomos europeos o árabes (1).

La supernova apareció como una estrella nueva, esplendorosa en la constelación de

Tauro, con una intensidad que excedía en brillo a Venus. Nada en el cielo era más brillante que la nueva estrella, excepto la Luna y el Sol. Era tan brillante que podía verse incluso en pleno día, y no durante un corto período, sino un día tras otro durante tres semanas enteras. Poco a poco comenzó a debilitarse pero transcurrieron dos años antes de que fuese demasiado débil para ser apreciada a simple vista.

En el punto del cielo en donde los antiguos astrónomos chinos informaron de esta extraordinaria aparición, ahora existe una nebulosa turbulenta llamada la «nebulosa del Cangrejo» que tiene un diámetro aproximado de trece años luz. El astrónomo sueco Knut Lundmark sugirió primeramente, en 1921, que eso podría ser un residuo superviviente de la supernova de 1054. Los gases de la nebulosa del Cangrejo todavía se mueven hacia fuera a una velocidad que, calculada a la inversa, demuestra que la explosión que los impulsa tuvo lugar en la época en que apareció la nueva estrella.

A pesar de todo el brillo de aquella supernova en el cielo de 1054, únicamente llegaba hasta la Tierra una cien millonésima parte de la luz que recibe del Sol, muy insuficiente para poder afectar en alguna manera a los seres humanos, sobre todo por el hecho de que estuvo en ese nivel únicamente unas pocas semanas.

Sin embargo, no es tan sólo la luz total la que cuenta, sino la distribución. Nuestro Sol nos envía radiación muy activa en forma de rayos X, pero una supernova tiene un porcentaje mucho mayor de energía radiante en la zona de rayos X. Y lo mismo ocurre con los rayos cósmicos, otra forma de radiación de alta energía a la que nos referiremos después.

Resumiendo, aunque la luz de la supernova del año 1054 fuese muy débil comparada con la del Sol, podía rivalizar con éste en su producción de rayos X y rayos cósmicos que llegasen a la Tierra, por lo menos en las primeras semanas de la explosión.

Aun así, no era peligrosa. Aunque, según veremos, el influjo de la radiación energética puede causar un efecto deletéreo en la vida, nuestra atmósfera nos protege de unas incalculables cantidades de radiación, y ni la supernova de 1054 ni el propio Sol pueden representar un peligro grave para nosotros bajo nuestra manta de aire protector. Esto no es simple especulación. El hecho es que el ritmo de la Tierra continuó durante ese año crítico de 1054 sin que se observaran malas consecuencias.

Naturalmente, la nebulosa del Cangrejo no está muy cerca de nosotros.

Se halla a una distancia de unos 6.500 años luz (1). En 1006, apareció una supernova todavía más brillante. Según los informes de los observadores chinos, al parecer llegó a ser unas cien veces más brillante que Venus y con una respetable fracción del brillo de la Luna llena. Incluso en un par de crónicas europeas aparecen unas referencias sobre ella. Estaba únicamente a una distancia de 4.000 años luz.

Desde 1054, tan sólo han aparecido dos supernovas visibles en nuestro cielo. En 1572 apareció una supernova en Casiopea casi tan brillante como la del año 1054, pero se hallaba a mayor distancia. Finalmente, en 1604, en Serpens, surgió una supernova muchísimo menos brillante que cualquiera de las otras tres mencionadas, pero también a una mayor distancia (2).

Desde el año 1604 pueden haber tenido lugar algunas supernovas en nuestra galaxia, que han permanecido invisibles, ocultas detrás de las grandes nubes de polvo y gas que se agrupan en los alrededores de la galaxia. Sin embargo, podemos descubrir los residuos de las supernovas en forma de anillos de polvo y de gas, como el de la nebulosa del Cangrejo, pero normalmente más delgados y más anchos, que hacen presumir la explosión de supernovas que no se han visto, ya fuese por permanecer ocultas o porque ocurrió demasiado lejos en el tiempo.

Unas pocas llamaradas de gas señaladas por emisión de microondas, llamadas Casiopea A, parecen señalar una supernova que debió de explotar a últimos del siglo XVI. Si fue así, es la supernova más reciente que se conozca haya explotado en nuestra galaxia, aunque no fuese vista en el momento de la explosión, que debió de ser considerablemente más espectacular que la supernova del año 1054 vista desde la misma distancia, a juzgar por la radiación que ahora nos llega de sus residuos. Sin embargo, se hallaba a 10.000 años luz, de

modo que no debió de haber sido mucho más brillante que la anterior, suponiendo que se hubiese podido ver.

Una supernova más espectacular que cualquiera de las observadas en tiempos históricos, brilló en el cielo hará quizás unos once mil años, en una época en que, en algunas partes del mundo, los seres humanos comenzaron pronto a desarrollar la agricultura. Lo que ahora queda de esa supernova es una nube de gas en la constelación de Vela, que fue primeramente observada en 1939 por el astrónomo ruso-americano Otto Struve (1897-1963). Esta nube de gas es conocida como la nebulosa de Gum (llamada así por el astrónomo australiano Colin S. Gum, que fue el primero que la estudió con detalle en la década de 1950). El centro de la nube de gas se halla únicamente a 1.500 años luz de nosotros, lo que la convierte, entre todas las supernovas conocidas, en la que ha explotado más cerca de nosotros. Un extremo de la nube de gas todavía en expansión y aclaramiento, únicamente está ahora a unos 300 años luz de la Tierra. En unos 4.000 años podría alcanzarnos, pero por aquel entonces la materia estará tan esparcida y será tan fina que no puede afectarnos de modo significativo.

Cuando esa supernova cercana estalló, en sus momentos culminantes debió de ser tan brillante como la Luna llena durante algunos días, y podemos envidiar a esos seres humanos prehistóricos que pudieron contemplar esa magnífica visión. Tampoco eso parece haber dañado de ningún modo a la Tierra.

Sin embargo, incluso la supernova Vela estaba a 1.500 años luz de distancia. Hay estrellas que se encuentran a menos de una centésima parte de esa distancia. ¿Qué ocurriría si una estrella realmente cerca de nosotros se convirtiera súbitamente en supernova? Supongamos que una de las estrellas del Alfa Centauro, únicamente a 4,4 años luz de distancia, se convirtiera en supernova, ¿qué sucedería? Si una supernova brillante apareciera a una distancia de 4,4 años luz, con todo el brillo que alcanza una supernova, su resplandor llegaría aproximadamente a una sexta parte de la luz y el calor del Sol y durante algunas semanas sufriríamos una ola de calor como nunca se ha soportado en la Tierra (1).

Supongamos que la supernova brillara por los días de Navidad como la mayor estrella de Belén que nunca haya brillado. En esa época del año, sería el solsticio de verano en el hemisferio Sur y la Antártida estaría enteramente expuesta a la continua luz solar. Evidentemente, la luz del Sol sería débil, pues desde la Antártida el astro rey está cerca del horizonte incluso en el solsticio. Sin embargo, la supernova Alfa Centauro se hallaría alta en el cielo y añadiría su calor muy importante al del Sol. La cima helada de la Antártida quedaría afectada. La cantidad de deshielo no tendría precedentes y el nivel del mar se elevaría considerablemente, con efectos desastrosos en muchas partes del mundo. Nivel que no retrocedería rápidamente después que la supernova se hubiese enfriado. Pasarían muchos años antes de que se restableciera el equilibrio.

Además, la Tierra estaría bañada por los rayos X y los rayos cósmicos con unas intensidades que quizá nunca hubiera recibido, y después quedaría envuelta durante algunos años en una nube de polvo y de gas más voluminosa que ninguna de las habidas anteriormente en ella. Más adelante expondremos los efectos que estos acontecimientos *po*drían tener, pero, con toda seguridad, serían desastrosos.

La suerte es que esto no sucederá. En verdad, *no puede* suceder. La más brillante de las estrellas del binario Alpha Centauro sólo tiene aproximadamente la masa del Sol y no puede estallar como una supernova gigante, ni como una especie de supernova, del mismo modo que nuestro Sol es incapaz de hacerlo. Lo máximo que Alfa Centauro puede hacer es convertirse en un gigante rojo, lanzar al espacio parte de sus capas exteriores como una nebulosa planetaria y contraerse entonces para convertirse en una enana blanca.

No sabemos cuándo sucederá eso, pues desconocemos su edad, pero no puede ocurrir antes de que se convierta en gigante rojo, y aunque eso comenzara a ocurrir mañana, probablemente permanecería en el estado de gigante rojo durante un par de millones de años.

¿Cuál es, entonces, la distancia más corta a la que podríamos encontrar posiblemente

una supernova?

Para comenzar, hemos de buscar una estrella masiva; una que posea 1,4 veces la masa del Sol, como mínimo absoluto, y una que sea considerablemente más masiva que todo eso, si deseamos un espectáculo realmente importante. Estas estrellas masivas no son corrientes y ése es el motivo principal por el cual las supernovas no son tampoco más corrientes que ellas. (Se estima que en una galaxia del tamaño de la nuestra puede haber una supernova aproximadamente cada ciento cincuenta años como promedio, y, como es natural, probablemente pocas de ellas estarán situadas ni siquiera a una distancia moderada.

La estrella masiva más cerca de nosotros es Sirio, que posee 2,1 veces la masa de nuestro Sol y se halla a una distancia de 8,63 años luz, justamente unas dos veces la distancia del Alfa Centauro. Incluso con esa masa, Sirio no es capaz de producir una supernova verdaderamente espectacular. Algún día estallará, es cierto, pero será más bien un disparo de fusil y no de cañón. Además, Sirio se halla en la secuencia principal. A causa de su masa, su tiempo de vida total en esa secuencia principal sólo llegará a unos quinientos millones de años de los que ya han pasado claramente algunos. Lo que queda, más el estado de gigante rojo, debe significar, sin embargo, que la explosión tardará todavía algunos centenares de millones de años, en caso de que se produzca.

Por consiguiente, lo que hemos de preguntarnos es cuál es la estrella masiva más cercana que esté ya en el nivel de gigante rojo.

El gigante rojo más cercano es Scheat, en la constelación de Pegaso. Se halla únicamente a unos 160 años luz de distancia y su diámetro alcanza unas ciento diez veces el del Sol. No conocemos su masa, pero si su anchura actual es la máxima que conseguirá, su masa excede poco la del Sol y no pasará al estado de supernova. Por otra parte, si tiene una masa superior a la del Sol, y está dilatándose todavía, su estado de supernova queda todavía muy lejano.

El gigante rojo auténtico más cercano es Mira, en la constelación de Cetus. Tiene un diámetro cuatrocientas veinte veces superior al del Sol, de modo que, si imagináramos situarlo en lugar de éste, su superficie llegaría hasta los más lejanos confines del cinturón de asteroides. Su masa debe ser considerablemente superior a la del Sol, y se encuentra a una distancia aproximada de 230 años luz.

Hay tres gigantes rojos que son mayores todavía y no están mucho más lejanos. Son Betelgeuse, en Orión; Antares, en Escorpio, y Ras Algethi, en Hércules. Cada uno de ellos se halla aproximadamente a 500 años luz de distancia.

Entre ellos Ras Algethi tiene un diámetro quinientas veces superior al del Sol, y Antares, seiscientos cincuenta veces superior al del Sol.

Si imaginásemos Antares en el lugar del Sol, con su centro situado en el centro del astro rey, su superficie llegaría más allá de la órbita de Júpiter.

Betelgeuse no tiene un diámetro fijo, pues parece palpitar. Cuando está en su período menor, no es mayor que Ras Algethi, pero puede dilatarse a un máximo de setecientas cincuenta veces el diámetro del Sol. Si imaginásemos a Betelgeuse en el lugar del Sol, su superficie, como máximo, llegaría a medio camino entre Júpiter y Saturno.

Es probable que Betelgeuse sea el más masivo de estos gigantes rojos cercanos y su pulsación puede ser un signo de inestabilidad. En ese caso, es posible que de todas las estrellas razonablemente cerca de nosotros, ésa sea la más próxima de convertirse en supernova y el colapso.

Otra indicación de eso es el hecho de que las fotografías de Betelgeuse, tomadas en 1978 en la escala de luz infrarroja (luz con ondas más largas que las de la luz roja y, por tanto, incapaces de afectar la retina del ojo), muestran que la estrella está rodeada por una enorme nube de gas unas cuatrocientas veces el diámetro de la órbita de Plutón alrededor de nuestro Sol. Puede ser que Betelgeuse ya esté empezando a arrojar materia en el primer nivel de conversión a supernova.

Sin conocer su masa, no podemos predecir lo brillante que podría ser la supernova

Betelgeuse, pero alcanzaría un tamaño respetable. Lo que podría no tener en brillo intrínseco podría compensarlo por hallarse tan sólo a un tercio de distancia de la supernova Vela. Por tanto, cuando se produzca, podría ser más brillante que la supernova de 1006, y rivalizar, quizá, con la supernova Vela. Los cielos podrían iluminarse con una especie de luz lunar y la Tierra ser bombardeada con una mayor concentración de intensa radiación que la que ha experimentado desde la supernova Vela hace 11.000 años.

Ya que el *Homo sapiens,* y la vida en general, parecen haber sobrevivido fácilmente a la supernova Vela, quedan esperanzas de que también podrían sobrevivir a la supernova Betelgeuse (1).

Todavía no se puede calcular el tiempo exacto en que la Betelgeuse podría alcanzar el punto de explosión. Es posible que su diámetro variable presente sea una indicación de que está a punto de colapso y de que cada vez que lo inicia la temperatura en aumento que lo acompaña se recupera. Podemos suponer que un colapso llegará tan lejos que marcará el momento de la explosión. Esa posibilidad puede retrasarse siglos; por otra parte, podría ser mañana. De hecho, Betelgeuse puede haber explotado hace ya cinco siglos y la onda de radiación, que habrá estado viajando hacia nosotros durante todo ese tiempo, puede alcanzarnos mañana.

Aunque una supernova Betelgeuse es lo peor que podemos esperar en un futuro razonablemente cercano, si nos convencemos de que se presentará como un espectáculo fascinante, pero sin peligro grave, todavía no estamos seguros en cuanto a explosiones estelares se refiere.

Un futuro algo más distante puede acarrearnos mayores peligros mucho antes de que llegue el momento de la muerte de nuestro Sol.

Después de todo, la actual situación no es permanente. Cada estrella, incluyendo nuestro Sol, se mueve sin cesar. Nuestro Sol se traslada continuamente hacia nuevos parajes, y esos parajes también cambian sin interrupción.

Con el tiempo, esos cambios es posible que puedan llevar a nuestro Sol a las proximidades de una estrella gigante que estalle para convertirse en supernova, justamente cuando pase por nuestro lado. El hecho de que la supernova Betelgeuse sea lo peor que podamos temer en este momento no es indicación de una seguridad eterna; es tan sólo un accidente momentáneo.

Sin embargo, semejante catástrofe producida por una estrella cercana no es fácil que suceda durante mucho tiempo. Como ya he señalado, las estrellas se mueven lentamente en comparación con las enormes distancias que hay entre ellas, y pasará mucho tiempo antes de que las estrellas que ahora están distantes de nosotros se acerquen de manera notable.

El astrónomo americano Carl Sagan (1935-) calcula que una supernova puede explotar dentro de 100 años luz de nosotros en intervalos de setecientos cincuenta millones de años. Si es así, semejantes explosiones cercanas pueden haber tenido lugar quizá seis veces en la historia del Sistema Solar, y pueden ocurrir nueve veces hasta ahora, más antes de que el Sol salga de la secuencia principal.

Sin embargo, ese acontecimiento no puede sorprendernos. No es difícil fijar las estrellas que se nos están acercando. Podemos distinguir una estrella gigante rojo incluso a una distancia considerablemente superior a los 100 años luz. Es probable que sepamos que va a producirse una explosión de esa magnitud con un período de aviso previo de por lo menos un millón de años y tendremos tiempo para adoptar nuestras precauciones y hacer planes para aminorar o evadir los efectos de la explosión.

Manchas solares

La siguiente pregunta es como sigue: ¿Podemos confiar plenamente en nuestro Sol? ¿Podría fallar alguna cosa mientras el Sol se halla todavía en la secuencia principal? ¿Podría fallar algo en un futuro próximo, sin previa advertencia, de modo que quedáramos sin defensas ni tiempo para desarrollarlas suponiendo que las tuviéramos?

A menos que exista algún gran error en nuestras teorías presentes respecto a la evolución estelar, no puede suceder nada inesperado muy grave en relación con el Sol. Como es ahora, así ha sido durante mucho tiempo, y así permanecerá por un largo período. Cualquier cambio en su comportamiento tendrá que ser tan pequeño que resultará inconsecuente en la escala solar.

Pero, ¿esas variaciones inconsecuentes a escala solar no podrían resultar desastrosas a escala terrestre? Claramente, sí. Una leve agitación en la conducta del Sol puede que no represente nada para el astro, y podría ser inobservable si el Sol se viese desde la distancia de las estrellas aún más próximas. Sin embargo, el efecto de tan pequeño cambio sobre la Tierra podría bastar para alterar drásticamente sus propiedades, y si la convulsión anormal durara el tiempo suficiente, podría caer sobre nosotros una auténtica catástrofe.

Después de todo, la vida, tal como nosotros la conocemos, es más bien una cosa frágil a escala cósmica. No se requiere, un cambio muy grande en la temperatura para hacer hervir los océanos o para helarlos, y en ambos casos hacer imposible la vida. Unos cambios relativamente pequeños en la conducta solar bastarían para producir uno de esos extremos. Por consiguiente, se deduce que, para que la vida continúe, el Sol debe brillar únicamente con variaciones muy pequeñas, cuanto más, en su estado general.

Puesto que la historia de la vida ha continuado durante más de tres mil millones de años, hasta donde podemos deducir, tenemos la esperanzadora seguridad de que el Sol es, en realidad, una estrella en la que se puede confiar. Sin embargo, el Sol podría ser suficientemente constante para permitir la vida en general, pero con la suficiente inconsecuencia para hacerle soportar terribles pruebas. La historia de la vida registra épocas en las que hubo catástrofes biológicas, y no podemos estar seguros de que el Sol no sea el responsable de ellas. Más adelante examinaremos esta cuestión.

Si nos limitamos a los tiempos históricos, el Sol ha parecido perfectamente estable, por lo menos a los observadores casuales y a los astrónomos que disponían de instrumentos menos sofisticados que los que tenemos hoy en día. ¿Nos engañamos al suponer que esto continuará?

Un modo de deducirlo es a base de observar otras estrellas. Si todas las otras estrellas son constantes en su brillo, ¿por qué no podríamos suponer que también nuestro Sol será así, sin excederse nunca al proporcionarnos más o menos radiación?

Sin embargo, es un hecho que pocas estrellas visibles a simple vista *sean* constantemente brillantes, sino que varían, presentándose más débiles algunas veces y más brillantes otras. Entre estas estrellas podemos citar Algol, en la constelación de Perseo. Ningún astrónomo de los tiempos antiguos o medievales parece haberse referido a su variabilidad, quizás a causa de la creencia griega respecto a la invariabilidad de los cielos. Sin embargo, hay evidencia indirecta de que los astrónomos pueden haberse dado cuenta de su alteración, aunque no les gustase hablar de ello. Se solía representar a Perseo en la constelación, sosteniendo la cabeza de Medusa decapitada, el monstruo demoníaco cuyo cabello eran serpientes vivas, y cuya mirada fatal convertía en piedra a los hombres. Se representaba a Algol con la figura de esa cabeza, y, en consecuencia, era llamado algunas veces «la estrella del diablo». El vocablo Algol es una distorsión del arábigo *al ghul* que significa el demonio.

Uno se siente inclinado a suponer que los griegos estaban demasiado preocupados por la variabilidad de Algol para referirse abiertamente a ese hecho de otra manera que exorcizándola al convertirla en demonio. El hecho de su variabilidad fue observada

explícitamente, por vez primera, el año 1669 por el astrónomo italiano Geminiano Montanari (1632-1687). En 1782, un sordomudo de dieciocho años, el astrónomo holandés-inglés John Goodricke (1764-1786), demostró que la variabilidad de Algol era absolutamente regular, y previo que no era en realidad variable. En lugar de ello, sugirió, Algol tenía como compañera una estrella débil que la rodeaba y que periódicamente la eclipsaba en parte. Según resultó, Goodricke tenía toda la razón.

Sin embargo, con anterioridad, en 1596, el astrónomo alemán David Fabricius (1564-1617) había observado una estrella variable mucho más notable de lo que Algol resultó ser. Era Mira, la estrella que he mencionado anteriormente como una casi gigante rojo. «Mira» proviene de una palabra latina que significa «causa de maravilla», y así era, pues su brillo varía muchísimo más de lo que hace Algol, volviéndose algunas veces tan débil que resulta invisible a simple vista. Mira ha tenido también un período mucho más largo y más irregular de variaciones que Algol. (De nuevo es de suponer que esto se notaría, pero quedaría deliberadamente ignorado por ser demasiado inquietante para ser aceptado.)

Podemos ignorar estrellas como Algol, que sufren eclipses y que únicamente *parecen* variar en luz. Su caso no indica ninguna señal de variabilidad desastrosa en una estrella como el Sol. Podemos también ignorar las supernovas que sólo ocurren en las convulsiones de una estrella que soporta su colapso final, y las novas corrientes, que son estrellas enanas blancas que ya han sufrido el colapso y están absorbiendo una cantidad de materia anormal de una estrella compañera normal.

Todo eso deja a las estrellas como Mira o Betelgeuse que son «estrellas intrínsecamente variables»; es decir, estrellas que varían en su emisión de luz a causa de los cambios cíclicos de su estructura. Palpitan, en algunos casos regularmente, y en otros de manera irregular, con un enfriamiento creciente, pero mayores en el momento de expansión de su ciclo, y más caliente, pero menores en el momento de contracción.

Si el Sol fuese también una estrella intrínsecamente variable, la vida en la Tierra sería imposible, pues la diferencia en la radiación emitida por el Sol en los diferentes momentos de su ciclo, periódicamente bañaría a la Tierra con un calor insoportable, sometiéndola después a un frío insoportable. Cabría argumentar que los seres humanos podrían protegerse de semejantes temperaturas extremas, pero es improbable que la vida se hubiese desarrollado en semejantes condiciones, en primer lugar, o de que hubiese evolucionado hasta alcanzar el período en el que cualquier especie hubiese alcanzado un nivel tecnológico suficiente para solucionar aquellas variaciones. Naturalmente, el Sol *no* es una estrella variable, pero podría convertirse en una de ellas, y ¿podríamos nosotros encontrarnos súbitamente habitando un mundo con temperaturas extremas que lo convirtieran en un horror insoportable?

Por suerte, eso no es nada probable. En primer lugar, las estrellas variables intrínsecamente no son corrientes. En conjunto, quizá se conocen tan sólo unas 14.000. Aún admitiendo que un número igual de estrellas de ese tipo hubieran pasado inadvertidas, porque están demasiado distantes para ser vistas o porque están ocultas detrás de nubes de polvo, el hecho sigue siendo que éstas estrellas representan un porcentaje muy pequeño del total de estrellas. La mayor parte de las estrellas parecen ser tan estables e invariables como creían los antiguos griegos.

Además, algunas estrellas intrínsecamente variables son estrellas grandes y brillantes al final de su período en la secuencia principal. Otras, como Mira y Betelgeuse, ya han salido de la secuencia principal y parecen hallarse al final de sus vidas como estrellas gigantes rojos. Es muy probable que las pulsaciones marquen el tipo de inestabilidad que indica el final de cierto período de la vida de una estrella y el paso cercano a su fase siguiente.

Puesto que el Sol todavía es una estrella de mediana edad para la que han de transcurrir miles de millones de años antes de que su fase actual termine, no parece que haya muchas probabilidades de que se convierta en una estrella variable por mucho tiempo en el futuro. A pesar de ello, existen grados de variabilidad, y el Sol podría ser, o convertirse, en variable en un grado muy pequeño, y causarnos molestias. ¿Qué sucede, por ejemplo, con las

manchas solares? ¿Podría indicar su presencia de vez en cuando, en cantidades variables, cierta pequeña variabilidad en la producción de la radiación solar? Se sabe que las zonas de la superficie del Sol con manchas son distintamente más frías que aquellas zonas sin manchas. Por tanto, ¿no sería posible que un sol manchado fuese más frío que uno sin manchas y que nosotros experimentáramos sus efectos aquí, en la Tierra?

Esta cuestión aumentó en importancia con el trabajo de un farmacéutico alemán, Heinrich Samuel Schwabe (1789-1875), cuya afición era la astronomía. Únicamente podía observar con su telescopio durante las horas diurnas, de modo que se dedicó a escrutar los alrededores del Sol para intentar descubrir un planeta desconocido que algunos opinaban podía dar vueltas alrededor de Sol dentro de la órbita de Mercurio. Si esto era cierto, podía cruzar periódicamente el disco del Sol y, por esta causa, Schwabe vigilaba.

Comenzó sus pesquisas en 1825, y al observar el disco solar no pudo por menos de notar las manchas. Al cabo de algún tiempo se olvidó del planeta y comenzó a dibujar las manchas solares. Durante diecisiete años, se dedicó a hacer lo mismo todos los días de Sol. En 1843, pudo anunciar que las manchas solares aumentaban y disminuían en número en un ciclo de diez años.

En 1908, el astrónomo norteamericano George Ellery Hale (1868-1938) pudo descubrir fuertes campos magnéticos dentro de las manchas solares. La dirección del campo magnético es uniforme durante un ciclo determinado, y efectúa una reversión en el próximo. Teniendo en cuenta los campos magnéticos, el tiempo máximo de una mancha solar con el campo en una dirección hasta el máximo siguiente con el campo en esa misma dirección, es de veintiún años.

En apariencia, el campo magnético solar se fortalece y debilita por alguna razón y las manchas solares están asociadas con este cambio. Y también lo están otros efectos. Hay «relámpagos solares», fulgores repentinos y temporales de la superficie del Sol, aquí y allá, que parecen asociados con el fortalecimiento local del campo magnético. Se hacen más frecuentes a medida que las manchas solares crecen en número, puesto que ambas reflejan el campo magnético. En consecuencia, estando al máximo una mancha solar hablamos de un «sol activo» y estando al mínimo de un «sol inmóvil» (1).

El Sol, además, está lanzando sin cesar chorros de núcleos atómicos (principalmente núcleos de hidrógeno, que son simples protones) que brotan del Sol a gran velocidad y en todas direcciones. Eso fue denominado «viento solar», en 1958, por el astrónomo norteamericano Eugene Norman Parker (1927-).

El viento solar alcanza y pasa la Tierra, interactuando con la atmósfera superior y produciendo una variedad de efectos, tales como la aurora boreal (o «luces del norte»). Los relámpagos solares arrojan grandes cantidades de protones y temporalmente acrecientan el viento solar. De este modo, la Tierra está mucho más intensamente afectada por las alzas y bajas de la actividad solar que por cualquier sencillo cambio de temperatura asociada con el ciclo de manchas solares.

El ciclo de manchas solares, cualesquiera que sean sus efectos sobre la Tierra, no interfiere claramente con la vida de un modo definido. Sin embargo, la cuestión radica en si el ciclo de manchas solares alguna vez puede desorganizarse, y si el Sol puede iniciar una oscilación tan violenta que produzca una catástrofe. Podríamos argumentar que ya que nunca lo ha hecho en el pasado, hasta donde nosotros sabemos, tampoco debería hacerlo en el futuro. Nuestra confianza en este argumento sería más sólida si el ciclo de las manchas solares fuese perfectamente regular. Pero no lo es. Por ejemplo, el tiempo entre la máxima de las manchas solares ha sido registrado hasta de unos siete años tan sólo, y ha llegado a ser de diecisiete años.

Además, la intensidad de la máxima no es fija. La importancia de la cifra de las manchas solares se mide por el número relativo de manchas según la escala de Zurich. Este sistema cuenta 1 por cada mancha solar individual y 10 por cada grupo de manchas, y multiplica el total por una cifra que varía según los instrumentos utilizados y las condiciones

de observación. Si el número relativo de manchas solares según la escala de Zurich se mide de año en año resulta que ha habido una máxima de manchas solares con cifras tan bajas como 50, como ocurrió a principios del siglo XVIII y a comienzos del XIX. Por otra parte, en 1959 se alcanzó la máxima de 200 superior a todos los tiempos.

Naturalmente, las cifras respecto a las manchas solares han sido anotadas cuidadosamente sólo desde que Schwabe informó en 1843, de modo que las cifras que utilizamos para los años anteriores, retrocediendo hasta 1700, quizá no son del todo confiables, y los informes del primer siglo después del descubrimiento de Galileo se han considerado normalmente como demasiado fragmentarias.

Sin embargo, en 1893, el astrónomo británico Edward Walter Maunder (1851-1928), investigando en antiguos registros, quedó sorprendido al descubrir que las observaciones sobre la superficie del Sol, hechas entre 1645 y 1715, no se referían a las manchas solares. El número total de manchas registrado durante ese período de setenta años era inferior al que ahora se registra en un solo año. En aquel momento se ignoró el descubrimiento, ya que parecía fácil suponer que los datos del siglo XVII eran demasiado fragmentarios y simples para tener significado, pero las investigaciones recientes han puesto de relieve a Maunder, y el período de 1645 a 1715 se conoce ahora como el «mínimo Maunder».

Durante aquel período, no tan sólo estaban casi ausentes las manchas solares, sino que también los registros de las auroras (que son tan corrientes durante el máximo de las manchas solares cuando los relámpagos se producen por toda la superficie del Sol) casi cesaron en aquel período. Y lo que es más, la forma de la corona durante los eclipses totales de Sol, a juzgar por las descripciones y dibujos de la época, era característica de su aparición en la mínima de las manchas solares.

Indirectamente, las variaciones en el campo magnético del Sol, tan evidente durante el ciclo de las manchas solares, afectan la cantidad de carbono-14 (una forma radiactiva de carbón) de la atmósfera. El carbono-14 está formado por rayos cósmicos que inciden en la atmósfera de la Tierra. Cuando el campo magnético del Sol se acrecienta durante la máxima de manchas solares, ayuda a proteger a la Tierra contra el influjo de los rayos cósmicos. En la mínima de manchas solares, el campo magnético se reduce y los rayos cósmicos no se desvían. Por consiguiente, el carbono-14 en la atmósfera es alto en la mínima de las manchas solares y bajo en la máxima de las manchas solares.

El carbono (incluyendo el carbono-14) es absorbido por la vida vegetal en forma de dióxido de carbono en la atmósfera. El carbono (incluyendo el carbono-14) es incorporado a las moléculas que forman la madera de los árboles. Afortunadamente, el carbono-14 puede ser descubierto y determinada su cantidad con gran minuciosidad. Al analizar árboles muy viejos, se puede determinar el carbono-14 en cada anillo anual, pudiéndose fijar la variación en carbono-14 de año en año. Es alto en la mínima de las manchas solares, y bajo en la máxima de las manchas solares, y ha resultado ser elevado durante todo el mínimo Maunder.

De este modo se han descubierto otros períodos largos de inactividad solar, algunos de ellos con una duración corta de cincuenta años y otros con una duración larga de hasta varios siglos. Una docena de ellos han sido descubiertos en tiempos históricos desde 3.000 a. de JC.

Resumiendo, parece que hay un ciclo mayor de manchas solares. Hay una mínima prolongada de muy poca actividad, entremezclada con prolongados períodos oscilatorios entre la actividad alta y la actividad baja. Nosotros nos hallamos en uno de los últimos períodos desde 1715.

¿Qué efectos causa en la Tierra este prolongado ciclo de manchas solares? Al parecer, la docena de mínimas Maunder que han tenido lugar en tiempos históricos no han interferido catastróficamente con la existencia humana. Basándonos en ello, no parece que hayamos de temer una repetición de una mínima tan prolongada. Por otra parte, demuestra que no sabemos tanto del Sol como creíamos conocer. No comprendemos muy bien lo que causa el ciclo de manchas solares de diez años que ahora existe y ciertamente no comprendemos lo que causa la mínima Maunder. Mientras no comprendamos tales cosas, ¿podemos estar seguros de que

el Sol no se descontrole en algún momento sin previo aviso?

Neutrinos

Podría ayudar naturalmente, si supiéramos qué es lo que sucede dentro del Sol, no sólo como teoría, sino como consecuencia de una observación directa. Esto puede parecer una esperanza inútil, pero no lo es enteramente.

En las décadas iniciales del siglo XX, se hizo evidente que cuando los núcleos radiactivos se desintegraban con frecuencia emitían electrones acelerados. Estos electrones poseían una gran variedad de energía que el núcleo había perdido. Esto parecía funcionar contra la ley de la conservación de la energía.

En 1931, el físico austríaco Wolfgang Pauli (1900-1958), para evitar la trasgresión de esa ley, así como de algunas otras leyes de conservación, sugirió que con el electrón se emitía siempre una segunda partícula y que ésta contenía la energía que faltaba. Para explicar todos los hechos del caso, la segunda partícula no debía llevar carga eléctrica y probablemente tenía que ser sin masa. Sin carga ni masa, sería muy difícil de descubrir. El físico italiano Enrico Fermi (1901-1954) lo llamó «neutrino», palabra italiana para designar «pequeño neutral».

Los neutrinos, suponiendo que posean las propiedades que les fueron atribuidas, no interactuarían fácilmente con la materia. Pasarían a través de todo el planeta con la misma facilidad con que cruzarían un espesor igual de vacío. De hecho, pasarían a través de miles de millones de tierras colocadas una al lado de otra con muy poco trabajo. Sin embargo, de vez en cuando un neutrino podría dar contra una partícula en unas condiciones en las que tuviera lugar la interacción. Si se tuviera que trabajar con muchos billones de neutrinos, todos los cuales atravesaran un cuerpo de materia pequeño, es posible que se produjeran algunas interacciones que podrían ser detectadas.

En 1953, dos físicos americanos, Clyde L. Cowan, Jr. (1919-) y Frederick Reines (1918-), trabajaron con antineutrinos (1) emitidos por reactores de uranio. Se hacía pasar estos reactores por grandes depósitos de agua y tenían lugar ciertas interacciones. Después de veintidós años de existencia simplemente teórica, el antineutrino, y, por tanto, también el neutrino, demostraron experimentalmente su existencia.

Las teorías astronómicas referentes a la fusión nuclear del hidrógeno en el helio en el centro del Sol, origen de la energía solar, requieren grandes cantidades de emisión de neutrinos *(no* antineutrinos), cantidades que pueden llegar al 3 % de la radiación total. El otro 97 % está compuesto por fotones, que son cuantos de energía radiante como la luz y los rayos X.

Los fotones se abren camino hasta la superficie y finalmente son irradiados al espacio, pero esto requiere bastante tiempo, pues los fotones establecen fácilmente acción recíproca con la materia. Un fotón producido en el centro del Sol es absorbido muy rápidamente, reemitido, absorbido otra vez, y así sucesivamente. Cuando el fotón llega a la superficie, ha tenido una historia tan complicada de absorciones y emisiones que es imposible deducir por su naturaleza lo que sucedió en el centro.

La cuestión es muy distinta en cuanto se refiere a los neutrinos. Éstos viajan también a la velocidad de la luz, puesto que no tienen masa. Sin embargo, por interactuar muy raras veces con la materia, los neutrinos producidos en el centro del Sol atraviesan directamente la materia solar, alcanzando su superficie en 2,3 segundos (perdiendo únicamente en el proceso 1 en cien mil millones por absorción). Cruzan entonces el vacío del espacio y en quinientos segundos más llegan a la Tierra siempre que se hallen en la dirección adecuada.

Si pudiéramos descubrir estos neutrinos solares aquí, en la Tierra, obtendríamos información directa respecto a lo que sucedió en el centro del Sol unos ocho minutos antes. La dificultad estriba en descubrir los neutrinos. El físico americano Raymond Davis Jr. emprendió esta tarea, aprovechando el hecho de que algunas veces un neutrino interactuará

con una variedad de átomos de cloro para producir un átomo radiactivo del gas argón. El argón puede ser recogido y descubierto, aunque sólo se formen unos pocos átomos (2).

A este propósito, Davis utilizó un gran depósito que contenía 378.000 litros (100.000 galones) de tetracloretileno, un líquido limpiador corriente, rico en átomos de cloro. Lo colocó en las profundidades de la mina de oro Homestake, en Lead, en Dakota del Sur, en donde quedaba 1,5 kilómetros (1 milla) de roca entre el depósito y la superficie. Toda aquella roca absorbería cualquier partícula procedente del espacio, excepto los neutrinos.

Sólo quedaba esperar que se formaran los átomos de argón. Si eran correctas las teorías aceptadas de lo que sucedía en el centro del Sol, en cada segundo se formarían un número determinado de neutrinos, de los cuales cierto número llegaría a la Tierra; entre éstos, cierto porcentaje pasaría por el depósito con el líquido limpiador, y entre este último, cierta proporción interactuaría con los átomos de cloro para formar un número determinado de átomos de argón. De las fluctuaciones en la proporción en que se formasen los átomos de argón, y otras propiedades generales y variaciones en la interacción, se podrían sacar conclusiones respecto a los acontecimientos en el centro del Sol.

Sin embargo, casi en seguida, Davis tuvo motivos para sorprenderse. Se descubrieron muy pocos neutrinos; muchos menos de los que se esperaba. Como máximo, únicamente se formó una sexta parte de la cifra que se preveía de átomos de argón.

Es evidente que las teorías astronómicas en cuanto a lo que sucede en el centro del Sol requieren una revisión. Sabemos menos de lo que suponíamos respecto a lo que ocurre en el interior del Sol. ¿Significa eso que se está preparando una catástrofe?

No podemos afirmarlo. Hasta donde hemos podido descubrir, el Sol ha sido suficientemente estable durante toda la historia de la vida para permitir que ésta continuase existiendo en el planeta. Teníamos una teoría que justificaba esa estabilidad. Ahora quizás habremos de modificar esa teoría, pero la teoría reformada tendrá que dar cuenta de la estabilidad. El Sol no se volverá inestable de repente sólo porque nosotros modifiquemos nuestra teoría.

Por tanto, resumiendo: una catástrofe de la segunda clase, que haga imposible la vida en la Tierra, llegará dentro de unos siete mil millones de años, pero tendremos aviso de ella con gran margen de tiempo.

Es posible que las catástrofes de segunda clase se produzcan antes de ese momento, inesperadamente, pero las posibilidades son tan mínimas que no sería sensato preocuparse demasiado por ello.

TERCERA PARTE

CATÁSTROFES DE TERCERA CLASE

Capítulo VII

EL BOMBARDEO DE LA TIERRA

Objetos extraterrestres

Al hablar anteriormente de la invasión en el Sistema Solar de objetos procedentes del espacio interestelar, me he concentrado en la posibilidad de que tales objetos afectaran al Sol, puesto que cualquier interferencia grave con la integridad de las propiedades solares forzosamente ha de producir un fatal efecto sobre nosotros.

Pero la Tierra es más sensible que el Sol si se produjera tal contratiempo. Un objeto interestelar, que cruzara el Sistema Solar, sería quizá demasiado pequeño para afectar de modo significativo al Sol, excepto en caso de colisión, y algunas veces, incluso chocando contra el Sol. Sin embargo, ese mismo objeto al invadir las proximidades de la Tierra, o al chocar con la Tierra, podría producir una catástrofe.

Por consiguiente, ha llegado el momento de considerar las catástrofes de tercera clase, aquellos posibles acontecimientos que afecten básicamente a la Tierra y la conviertan en inhabitable, aunque el universo, e incluso el resto del Sistema Solar, no sean afectados.

Consideremos, por ejemplo, el caso de un miniagujero negro invasora, de grandes dimensiones relativamente, digamos con una masa comparable a la de la Tierra. Semejante objeto, al no acertar en el Sol, no le causará daño, aunque ella misma, el miniagujero negro, quizá cambie drásticamente su órbita a causa del campo gravitacional del Sol (1).

Sin embargo, si ese objeto *rozara la* Tierra, podría causar efectos desastrosos, aún en el caso de no establecer contacto directo, tan sólo a causa de la influencia de su campo gravitacional sobre nosotros.

Teniendo en cuenta que la intensidad de un campo gravitacional varía con la distancia, el lado de la Tierra de cara al intruso sufrirá una mayor atracción que el lado opuesto. La Tierra sufrirá, en cierta medida, un impulso en dirección del intruso. En particular serán las aguas del océano las más afectadas por ese impulso. El océano se esforzará en los lados opuestos de la Tierra para acercarse al intruso y alejarse de él. Y a medida que la Tierra dé vueltas, los continentes pasarán por esos esfuerzos impulsivos. Dos veces cada día, el mar ascenderá por las orillas continentales para retroceder de nuevo más tarde.

El avance y el retroceso del mar (las «mareas») se experimentan actualmente en la Tierra como resultado de la influencia gravitacional de la Luna y, en menor proporción, del Sol. Por esta causa, todos los efectos producidos sobre un cuerpo por diferencias en influencia gravitacional son llamados «efectos de marea».

Los efectos de marea son mayores cuanto más grande es la masa del intruso y cuanto más cerca pase de la Tierra. Si un miniagujero negro invasor es lo bastante masivo y roza la Tierra a distancia relativamente próxima, podría interferir con la integridad de la estructura del planeta, producir grietas en su corteza, etc. Como es natural, un choque sería simplemente catastrófico.

Sin embargo un miniagujero negro de ese tamaño sería extraordinariamente raro, aunque pudiera existir, y hemos de tener presente, además, que la Tierra ofrece un blanco mucho más pequeño que el Sol. El área de corte transversal de la Tierra sólo llega a doce milésimas de la del Sol, de modo que la muy escasa probabilidad de un encuentro entre ese cuerpo y el Sol ha de disminuir en un factor de 12 milésimas para un encuentro cercano con la Tierra.

Los miniagujeros negros, si es que existen, alcanzarían probablemente un tamaño asteroidal. Un miniagujero negro asteroidal, con una masa que fuese, supongamos, de una millonésima parte de la de la Tierra, no ofrecería graves peligros por simple proximidad. Produciría unos efectos de marea insignificantes y el acontecimiento no nos pasaría

inadvertido, en caso de producirse.

Sin embargo, el caso sería diferente si se tratara de un choque directo. Un agujero negro, por pequeño que fuese, se abriría camino adentrándose en la corteza de la Tierra. Naturalmente, absorbería materia, y las energías liberadas en el proceso se fundirían y licuarían y vaporizarían la materia frente a su camino. Podría abrirse todo el camino en redondo, en una línea curva (aunque, como es natural, sin pasar necesariamente por el centro) y emerger de la Tierra para continuar su camino por el espacio, camino que es lógico estaría alterado a causa del impulso gravitacional de la Tierra. Cuando emergiera sería más masivo de lo que era al penetrar. También se movería con más lentitud, pues, al pasar por entre los gases de la sustancia en vapor de la Tierra, hubiese encontrado cierta resistencia.

El cuerpo terrestre sanaría después que el miniagujero negro hubiese pasado por él en su camino. Los vapores se enfriarían y solidificarían y las presiones internas cerrarían el túnel. Sin embargo, los efectos en la superficie serían los de una enorme explosión, de hecho, dos explosiones, una en la zona por donde hubiese entrado el mini agujero negro, y otra en la zona por donde emergiera, con efectos devastadores (aunque no del todo catastróficos).

Naturalmente, cuanto menor fuese el miniagujero negro, tanto menores serían los efectos, excepto que, en cierta manera, uno pequeño sería mucho peor que una mayor. Un miniagujero negro pequeño tendría un *momentum* más bien bajo, gracias a su pequeña masa, y si además se moviera a una velocidad relativamente baja con relación u la Tierra, el proceso de abrirse paso perforando un túnel podría disminuir lo bastante corno para quedar imposibilitado de continuar para salir por el otro lado. En ese caso quedaría atrapado en la gravedad de la Tierra. Caería hacia el centro, que excedería, cayendo de nuevo y así sucesivamente, una y otra vez.

A causa de la rotación de la Tierra, el miniagujero negro no iría y vendría por el mismo camino, sino que trazaría una complicada red de caminos, que continuamente se agrandarían a su paso por la absorción de materia en cada pasada. Es probable, que quedara establecido en el centro, dejando tras sí una Tierra acribillada, con una zona horadada en el centro, hueco que lentamente seguiría aumentando. Si este proceso llegase a debilitar tanto la estructura de la Tierra como para provocar un colapso, se concentraría mayor cantidad de material en el agujero negro central, y, posiblemente, todo el planeta quedaría consumido.

El agujero negro consiguiente, con la masa de la Tierra, continuaría girando alrededor del Sol siguiendo la órbita terrestre. No produciría diferencia gravitacional alguna al Sol y a los otros planetas, incluso la Luna continuaría girando alrededor de un objeto diminuto, de 2 centímetros de diámetro (0,8 pulgadas), como si se tratara de una Tierra en su tamaño normal, lo que naturalmente sería desde el punto de vista de la masa.

Sin embargo, para nosotros representaría el fin del mundo, el epítome de una catástrofe de tercera clase. Y (en teoría) esto podría suceder mañana.

También, una pieza de antimateria demasiado pequeña para causar alteraciones en el Sol, aunque chocara con ese cuerpo, podría ser lo suficientemente grande para acarrear el caos a la Tierra. Al contrario del agujero negro, si tuviera una masa asteroidal, o menor, no se abriría paso a través del planeta. Sin embargo, abriría un cráter que podría destruir una ciudad, o un continente, según su tamaño. Fragmentos corrientes de materia de la variedad familiar que nos invadieran del espacio interestelar, naturalmente nos causarían un daño todavía menor.

La Tierra está protegida de estas catástrofes por invasión, por dos motivos:

1. Realmente, desconocemos si existen miniventanas negras y cuerpos antimateria.

2. Si estos objetos existen en realidad, el espacio tiene un volumen tan enorme, y la Tierra ofrece un blanco tan pequeño, que sería necesaria una caída extraordinaria de objetos dentro de las probabilidades casi imposibles, para que nos acertara de lleno o se acercara bastante. Naturalmente, esto se refiere también a objetos de materia ordinaria.

Por tanto, en conjunto, podemos dejar a un lado a los invasores del espacio

interestelar, o a grandes invasores de cualquier tipo, considerando que no representan un daño perceptible para la Tierra (1).

Cometas

Si tuviéramos que buscar proyectiles teledirigidos lanzados contra la Tierra no tendríamos que indagar en el espacio interestelar. Existen suficientes objetos sueltos dentro del propio Sistema Solar.

Gracias a los trabajos del astrónomo francés Pierre Simón Laplace (1749-1827), desde 1800 se sabe que el Sistema Solar es una estructura estable, siempre que se la deje por sí misma. (Ya *ha* permanecido así, hasta donde sabemos, durante los cinco mil millones de años de su existencia, y debería también continuar de la misma forma, hasta donde nos es permitido juzgar, por un período indefinido en el futuro.)

Por ejemplo, la Tierra no puede caer dentro del Sol. Para ello, necesitaría librarse de su enorme suministro de *momemtum* angular de revolución. Ese suministro no puede destruirse; ha de ser transferido, y no conocemos ningún mecanismo, aparte de la invasión de un cuerpo con tamaño planetario procedente del espacio interestelar que absorbiera el *momentum* angular de la Tierra, dejando a la Tierra inmóvil con respecto al Sol, y, por consiguiente, capaz de caer dentro de él.

Por la misma razón, ningún planeta puede caer en el Sol, ni satélite alguno puede caer sobre su planeta, y, especialmente, la Luna no puede caer sobre la Tierra. Y tampoco pueden los planetas alterar sus órbitas de modo que choquen unos contra otros (1).

Naturalmente, el Sistema Solar no siempre estuvo tan ordenado como ahora. Cuando los planetas se estaban formando, una nube de polvo y gas en coalescencia en los alrededores del Sol se condensaba en fragmentos de diversos tamaños. Los fragmentos mayores aumentaban a expensas de los menores hasta que quedaron formados grandes centros de tamaño planetario. Sin embargo, permanecieron algunos objetos más pequeños de tamaño considerable. Algunos de ellos se convirtieron en satélites, girando alrededor de los planetas en lo que vino a ser órbita estable. Otros chocaron con el planeta o los satélites, añadiendo los últimos pedazos a la masa de aquéllos.

Podemos contemplar las marcas de las colisiones finales con la Luna, por ejemplo, utilizando simplemente un buen par de prismáticos. En la Luna hay 30.000 cráteres con diámetros que van de uno hasta más de 200 kilómetros, cada uno de ellos constituye la marca de una colisión con un fragmento veloz de materia.

Las exploraciones de los cohetes nos han mostrado las superficies de otros mundos, y encontramos cráteres en Marte, en sus dos satélites, Fobos y Deimos, y en Mercurio. La superficie de Venus está cubierta de nubes y es difícil explorarla, pero allí también, sin duda alguna, hay cráteres. Hay cráteres incluso en Ganímedes y Calixto, dos de los satélites de Júpiter. ¿Por qué, en este caso, no tenemos cráteres de bombardeos en la Tierra?

¡Oh! ¡Pero existen! O, mejor dicho, existieron en otros tiempos. La Tierra presenta unas características de las que carecen otros mundos de su mismo tamaño. Tiene una atmósfera activa, de la que carecen la Luna, Mercurio y los satélites de Júpiter, y que Marte presenta en número muy pequeño solamente. Posee un voluminoso océano, para no hablar del hielo, la lluvia y el agua corriente, cosa que no tiene ningún otro, aunque en Marte hay hielo y pudo haber existido el agua corriente. Finalmente, la Tierra tiene vida, algo en lo que parece ser única en todo el Sistema Solar. Viento, agua y actividad de vida, todo sirve para erosionar características de superficie, y, puesto que los cráteres se formaron hace miles de millones de años, los de la Tierra ahora están ya borrados (2).

Dentro de los primeros miles de millones de años después de la formación del Sol, los diversos planetas y satélites habían dejado establecidas sus órbitas y tomado su forma presente. Sin embargo, el Sistema Solar no es enteramente claro todavía. Queda lo que

podríamos llamar residuos planetarios, pequeños objetos que dan vueltas alrededor del Sol, demasiado pequeños para convertirse en planetas respetables, y, sin embargo, capaces de crear un caos considerable en el caso de chocar con un cuerpo mayor. Por ejemplo, existen los cometas.

Los cornetas son objetos nebulosos, de brillo deshilachado, que algunas veces tienen forma irregular. Se han visto en el cielo desde que los seres humanos comenzaron a contemplar las alturas, pero no se ha conocido su naturaleza hasta los tiempos modernos. Los astrónomos griegos creyeron que se trataba de fenómenos atmosféricos y que consistía en vapores ardientes muy altos en el aire (1). En 1577, el astrónomo danés, Tico Brahe (1546-1601), pudo demostrar que los cometas estaban muy alejados en el espacio, errando entre los planetas.

En 1705, Edmund Halley pudo finalmente calcular la órbita de un cometa. (Ahora se conoce como el cometa de Halley.) Demostró que el cometa no giraba alrededor del Sol en una órbita casi circular como hacen los planetas, sino en una órbita elíptica de gran extensión. Era una órbita que lo acercaba relativamente al Sol por un lado y lo llevaba mucho más allá de la órbita del más lejano de los planetas conocidos en el otro extremo.

El hecho de que los cometas visibles a simple vista tienen una apariencia alargada en vez de ser simples puntos de luz como son los planetas y las estrellas, parecía indicar que se trataba de cuerpos muy masivos. El naturalista francés George L. L. Buffon (1707-1788) así lo creyó, y considerando la manera en que parecían rozar al Sol en un extremo de su órbita, se preguntó si, por un pequeño error de cálculo, por expresarlo de alguna manera, un cometa podría chocar contra el Sol. En 1745, sugirió la posibilidad que el Sistema Solar se hubiese formado por medio de una colisión de este tipo.

Hoy día se sabe que los cometas son cuerpos pequeños, que sólo tienen unos pocos kilómetros de diámetro, todo lo más. Según algunos astrónomos, como el holandés Jan Hendrik Oort (1900-), puede haber hasta cien mil millones de estos cuerpos formando una nube alrededor del Sol a una distancia aproximada de un año luz. (Cada uno de ellos sería tan pequeño y el conjunto de todos ellos estaría esparcido en un volumen de espacio tan grande que no podrían interferir en absoluto en nuestra visión del Universo.)

Es posible que los cometas sean residuos intactos de los bordes de la nebulosa original de la que se formó el Sistema Solar. Probablemente están compuestos de los elementos más ligeros, congelados como sustancias heladas, agua, amoníaco, ácido sulfhídrico, cianuro de hidrógeno, metano, etc. Incrustado en estos hielos encontraríamos cantidades variables de material rocoso en forma de polvo o gravilla. En algunos casos, la roca puede formar un núcleo sólido.

De vez en cuando, algún cometa de este lejano sistema puede ser alterado por la influencia gravitacional de alguna estrella relativamente cercana y puede iniciar una nueva órbita que lo acerque más al Sol. Si al pasar por el sistema planetario el cometa es perturbado por el impulso gravitacional de uno de los planetas mayores, su órbita puede modificarse de nuevo quedando dentro del sistema planetario hasta que en otra perturbación planetaria le arroje del sistema otra vez (1).

Cuando un cometa entra en el Sistema Solar interior, el calor del Sol comienza a derretir el hielo y el «núcleo» central del cometa queda envuelto en una nube de vapor, visible por la inclusión de partículas de hielo y polvo. El viento solar aleja la nube de vapor y la alarga en forma de cabellera. Cuanto mayor y más helado es el cometa, y cuanto más se acerca al Sol, tanto mayor y más brillante es la cola. Es precisamente esta nube de polvo y vapor, alargada en forma de cola, la que da al cometa su enorme tamaño aparente, pero se trata de una nube insustancial y representa muy poca masa.

Después que un cometa ha pasado cerca del Sol y regresa a los lugares más alejados del Sistema Solar, se ha empequeñecido por la cantidad de material que ha perdido en su camino. En cada una de sus visitas a las proximidades del Sol, va perdiendo peso hasta que acaba muriendo. Puede quedar reducido a su núcleo central de roca, o, si no lo hay, a una nube

de polvo y gravilla que lentamente se desparrama por la órbita del cometa.

Dado que los cometas se originan en la corona que rodea al Sol en tres dimensiones, pueden entrar en el Sistema Solar desde cualquier ángulo. Dado que se alteran fácilmente, sus órbitas pueden ser casi cualquier tipo de elipse, adoptando cualquier posición con relación a los planetas. Además, la órbita está siempre sujeta a cualquier cambio producido por alteraciones posteriores.

En estas condiciones, la conducta de un cometa como miembro del Sistema Solar no es tan ordenada como son los planetas y los satélites. Cualquier cometa, antes o después, podría chocar contra un planeta o un satélite. Especialmente, podría chocar contra la Tierra. Tan sólo la inmensidad del espacio y la pequeñez comparativa del blanco evita que esto suceda. Sin embargo, existen muchas más probabilidades de que la Tierra reciba el impacto de un cometa que de cualquier otro gran cuerpo del espacio interestelar.

Por ejemplo, el 30 de junio de 1908, en el río Tunguska, en la Rusia Imperial, de hecho, muy cerca del centro exacto del Imperio, se produjo una enorme explosión a las seis horas y cuarenta y cinco minutos de la madrugada. Todos los árboles en una gran extensión de terreno fueron derribados en todas direcciones. Desapareció un rebaño de renos, y, sin duda alguna, murieron otros muchos animales. Por suerte, ¡no falleció ningún ser humano! La explosión tuvo lugar en medio de un bosque siberiano impenetrable, quedando fuera de su amplio radio de devastación la gente y sus obras. Solamente algunos años después se pudo investigar en el lugar de la explosión descubriéndose que no quedaba señal alguna de impacto en la tierra. Por ejemplo, parecía no haber cráter alguno.

Desde entonces, se han ofrecido muchas explicaciones para justificar la violencia del acontecimiento y la falta de impacto: miniagujeros negros, antimateria, incluso naves espaciales extraterrestres con motores nucleares. Sin embargo, los astrónomos están razonablemente seguros de que se trataba de un pequeño cometa. El material helado que lo componía se evaporó al penetrar en la atmósfera con tanta rapidez que provocó un estallido. La explosión en el aire, quizá a menos de 10 km (6 millas) por encima del suelo, causarían todo el daño que realmente produjo la explosión de Tunguska, pero el cometa, naturalmente, nunca habría llegado al suelo, así que no hubiese abierto un cráter ni hubieran quedado fragmentos de su estructura esparcidos por el lugar.

Representó una auténtica suerte que la explosión ocurriese en uno de los pocos lugares de la Tierra en donde los seres humanos no pudieran recibir perjuicios. De hecho, si el cometa hubiese seguido exactamente el curso que había tomado, pero la Tierra hubiera estado un cuarto de vuelta más avanzada en su movimiento de rotación, habría desaparecido la ciudad de San Petersburgo (ahora Leningrado). Aquella vez tuvimos suerte, pero puede suceder otra vez, con resultados peores, y no sabemos cuándo. En las presentes condiciones, es difícil que recibamos un aviso previo.

Si contamos la cola del cometa como formando parte de él, las posibilidades de colisión aumentan todavía más. Las colas de los cometas pueden prolongarse muchos millones de kilómetros ocupando tanto volumen del espacio que la Tierra podría fácilmente pasar por el medio. En 1910, ya sucedió. La Tierra pasó a través de la cola del cometa Halley.

Sin embargo, las cabelleras o colas de los cometas representan una materia tan finamente esparcida que son poco más que el propio vacío del espacio interplanetario. Aunque están compuestas por gases tóxicos que serían peligrosos si la cola fuese tan densa como la atmósfera terrestre, no pueden causar daño en su típica densidad. La Tierra no sufrió daños visibles, ninguno en realidad, al cruzar la cola del cometa Halley.

La Tierra puede atravesar también el material pulverulento resto de cometas muertos. Y así sucede efectivamente. Tales partículas de polvo bombardean sin cesar la atmósfera de la Tierra y se asientan lentamente en ella sirviendo de núcleo a las gotas de lluvia. La mayor parte son de tamaño microscópico. Las que presentan tamaño visible se calientan al comprimir el aire y desprenden luz, brillando como una «estrella fugaz» o un «meteoro» hasta vaporizarse.

Ninguno de estos objetos puede causar daño alguno, simplemente llegan a instalarse en el suelo. Aunque de tamaño tan pequeño, son tantos los que bombardean la atmósfera de la Tierra que se estima que la Tierra gana cada año unas cien mil toneladas de masa de estos «micrometeoroides». Esta cifra parece exagerada, pero en los últimos cuatro mil millones de años semejante incremento de masa, si se ha mantenido constantemente en esa proporción, sumaría menos de 1/10.000.000 de la masa total de nuestro planeta.

Asteroides

Los cometas no son los únicos cuerpos pequeños del Sistema Solar. El 1° de enero de 1801, el astrónomo italiano Giuseppi Piazzi (1746-1826) descubrió un nuevo planeta al que llamó Ceres. Se movía alrededor del Sol en una órbita típicamente planetaria, casi circular. Su órbita se hallaba entre las de Marte y Júpiter.

La razón de haberse descubierto tan tarde se debe al hecho de ser un planeta muy pequeño, que, por tanto, captaba y reflejaba tan poca luz solar que su brillo era demasiado débil para ser observado a simple vista. En efecto, tan sólo tenía un diámetro de 1.000 km (600 millas), considerablemente menor que Mercurio, siendo el planeta más pequeño conocido hasta entonces. Es más pequeño incluso que diez de los satélites de los diversos planetas.

Si eso fuese todo, se hubiera aceptado simplemente como un planeta pigmeo, pero había algo más. Al cabo de seis años del descubrimiento de Ceres, los astrónomos descubrieron tres planetas más, cada uno de ellos más pequeño que Ceres, y todos ellos con una órbita entre las de Marte y Júpiter.

Dado que estos nuevos planetas eran tan pequeños, su aspecto a través del telescopio era semejante al punto de luz de las estrellas sin que se dilatara en forma de disco como sucede con los planetas. William Herschel sugirió, por tanto, que esos nuevos cuerpos fuesen llamados «asteroides» («semejantes a estrellas»), sugerencia que fue aceptada.

A medida que pasaba el tiempo, se > descubrieron cada vez más asteroides, todos ellos más pequeños o más alejados de la Tierra que los cuatro primeros, y, por consiguiente, más débiles y más difíciles de observar. Hasta ahora se han localizado ya más de 1.700 asteroides y se han calculado sus órbitas. Se estima que habrá entre 40.000 a 100.000, con diámetros de más de un kilómetro. (Repetimos, son individualmente tan pequeños y están desparramados en una extensión del espacio tan inmensa, que no interfieren en absoluto con la visión del espacio por los astrónomos.)

Los asteroides se diferencian de los cometas por ser rocosos o metálicos y no de hielo. Los asteroides, además, pueden ser considerablemente mayores que los cometas. Por consiguiente, los asteroides pueden ser también, en ocasiones, unos proyectiles mucho más formidables que los cometas.

Sin embargo, los asteroides están en su mayor parte en órbitas más seguras. Casi todas las órbitas asteroidales se hallan en toda su longitud en el espacio planetario entre las órbitas de Marte y de Júpiter. Si todas ellas continúan allí de manera permanente, naturalmente no representarían peligro alguno para la Tierra.

No obstante, los asteroides, sobre todo los más pequeños, están sujetos a alteraciones y a cambios orbitales. Con el paso del tiempo, algunas órbitas cambian, de manera que llevan los asteroides muy cerca de los límites del «cinturón asteroidal». Por lo menos ocho de ellos se acercaron suficientemente a Júpiter para ser capturados y se han convertido en satélites de ese planeta, dando vueltas a su alrededor en órbitas distantes. Júpiter puede tener otros satélites semejantes demasiado pequeños para haber podido ser observados. Además, existen también algunas docenas de satélites, que, aunque no capturados por el propio Júpiter, viajan por la órbita de Júpiter, a unos 60° delante o detrás de él, mantenidos más o menos en su lugar por la influencia gravitacional de Júpiter.

Incluso hay asteroides cuyas órbitas han sido alteradas y convertidas en elipses prolongadas, cuando, por ejemplo, los asteroides están más cerca del Sol que del cinturón de asteroides, pero en el otro extremo de su órbita se mueven mucho más allá de Júpiter. Uno de tales asteroides, Hidalgo, descubierto en 1920 por el astrónomo alemán Walter Baade (1893-1960), se aleja, llegando casi hasta la órbita de Saturno.

Sin embargo, si los asteroides que permanecen dentro del cinturón de asteroides no representan peligro para la Tierra, tampoco los que van más allá de los límites del cinturón y se trasladan más allá de Júpiter representan ningún peligro. Pero, ¿existen asteroides que vagabundean en otra dirección y se mueven por la órbita de Marte acercándose posiblemente a la Tierra?

La primera indicación de esa posibilidad surgió en 1877 cuando el astrónomo alemán Asaph Hall (1829-1907) descubrió los dos satélites de Marte. Eran objetos diminutos, de tamaño asteroidal, que ahora se cree son asteroides capturados que se aventuraron demasiado cerca de Marte.

El 13 de agosto del año 1898, el astrónomo alemán Gustav Witt descubrió un asteroide al que llamó Eros. Su órbita era notablemente elíptica, de modo que en su posición más alejada del Sol estaba dentro del cinturón de asteroides, pero, cuando se acercaba al Sol, únicamente quedaba a una distancia de ciento setenta millones de kilómetros (106 millones de millas) del Sol. Eso le acerca al Sol casi tanto como la Tierra.

De hecho, si Eros y la Tierra se hallasen en el punto apropiado de sus órbitas, la distancia entre ambos sería únicamente de veintidós y medio millones de kilómetros (14 millones de millas). Como es natural, no ocurre a menudo que ambos estén en los puntos apropiados de sus órbitas, sino que se hallan a una distancia enormemente superior a la mencionada. Sin embargo, Eros puede aproximarse a la Tierra mucho más que cualquier otro planeta. Fue el primer objeto de gran tamaño del Sistema Solar (exceptuando la Luna) que se acercase a la Tierra más que Venus, y, por tanto, está considerado como el primero de los «rozadores de la Tierra» que haya sido observado.

Durante el siglo XX, a medida que se utilizó la fotografía y otras técnicas para detectar asteroides, fueron descubiertos más de una docena de rozadores de la Tierra. Eros es un objeto de forma irregular, con un diámetro mayor de unos 24 kilómetros (15 millas), pero los otros rozadores de la Tierra son más pequeños que éste, en su mayor parte con diámetros que van de 1 a 3 kilómetros.

¿Cuánto puede acercarse a la Tierra uno de estos cuerpos rozadores? En noviembre de 1937, un asteroide al que se dio el nombre de Hermes fue observado a su paso al lado de la Tierra a una distancia no superior a los 800.000 kilómetros (500.000 millas), escasamente el doble de la distancia de la Luna. La órbita que se calculó demostraba que, si Hermes y la Tierra estuviesen en los puntos apropiados de su órbita, la aproximación podría llegar a ser hasta una distancia de 310.000 kilómetros (190.000 millas), y en ese momento Hermes estaría incluso más cerca de nosotros de lo que se halla la Luna. El pensamiento no resulta nada consolador, pues Hermes probablemente llega a tener un kilómetro de diámetro y una colisión con él causaría un daño enorme.

Sin embargo, no podemos estar seguros en cuanto a su órbita, pues Hermes no ha sido visto nunca más, lo que significa que la órbita calculada no era correcta o que Hermes sufrió una alteración en la misma. Si se le ve de nuevo, será tan sólo por accidente.

Como es natural, sin duda, existen algunos muchos más objetos que rozan la Tierra, de los que probablemente veamos con nuestros telescopios, ya que cualquier objeto que pase al lado de la Tierra, a una distancia cercana, lo hace con tanta rapidez que puede pasar fácilmente inadvertido. También, si se trataba de objetos muy pequeños (y, como en todos los casos, existen muchos más objetos rozadores de la Tierra pequeños que grandes) su luz sería muy débil en el mejor de los casos.

El astrónomo americano Fred Whipple (1911-) supone que existen por lo menos cien cuerpos que pasan rozando la Tierra mayores de 1,5 kilómetros de diámetro. De ello se

concluye que probablemente pueden existir algunos millares de otros objetos que tengan de 1,5 a 0,1 kilómetros de diámetro.

El 10 de agosto de 1972, un rozador de la Tierra muy pequeño pasó por la atmósfera superior y durante su paso se calentó presentando un resplandor visible. En el punto más cercano estuvo a 50 kilómetros (30 millas) sobre el Sur de Montana. Se estimó que su diámetro era de 0,013 kilómetros (14 yardas).

En resumen, en las proximidades de la Tierra parece que abundan objetos que nadie había visto con anterioridad al siglo XX, los tamaños de los cuales oscilan desde el gran volumen de Eros hasta docenas de objetos del tamaño de montañas, millares de objetos del tamaño de grandes peñascos y miles de millones de objetos como guijarros. (Si queremos sumar los residuos cometarios, que se han mencionado anteriormente, existen muchos billones de objetos con el tamaño de una cabeza de alfiler, y menos todavía).

¿Puede la Tierra *cruzar* un espacio tan poblado sin sufrir ninguna colisión? Naturalmente, que no. Las colisiones son constantes.

Meteoritos

Casi siempre, los fragmentos de materia de tamaño suficiente para calentarse e inflamarse visiblemente con gran luminosidad al atravesar la atmósfera (en cuyo momento se llaman «meteoros»), se evaporan, quedando reducidos a polvo y vapor antes de llegar al suelo. Esto sucede siempre con los residuos cometarios.

Quizá la mayor «lluvia de meteoros» de los tiempos históricos ocurrió en 1833, cuando a los observadores del Este de los Estados Unidos los relámpagos les parecieron tan densos como copos de nieve, y los más simples creyeron que las estrellas estaban cayendo del cielo y que el mundo estaba a punto de acabar. Sin embargo, cuando la lluvia de meteoros terminó, todas las estrellas seguían brillando en el firmamento tan tranquilas como de costumbre. No faltaba ni una. Y lo que es más, ni uno solo de esos fragmentos resplandecientes de materia chocó contra el suelo como un objeto de medida apreciable. Si un fragmento de residuo que penetra en la atmósfera es lo suficientemente grande, su rápido paso por el aire no basta para evaporarlo por completo, y parte de él llega al suelo como un «meteorito». Tales objetos probablemente nunca tuvieron un origen cometario, pero son pequeños rozadores de la Tierra que se originaron en el cinturón de asteroides.

Quizá 5.500 meteoritos han caído en la superficie de la Tierra durante los tiempos históricos: una décima parte de ellos fueron de hierro y el resto de piedra.

Los meteoritos de piedra, a menos que se observen al caer, son difíciles de distinguir de las rocas ordinarias de la superficie de la Tierra para cualquiera que no sea un especialista en tales asuntos. Sin embargo, los meteoritos de hierro (1) son más fáciles de observar, pues el hierro no se encuentra de forma natural en la Tierra.

Antes de que se supiera cómo obtener hierro fundiendo la mena de hierro, los meteoritos constituían una valiosa fuente de un metal superduro para puntas y filos de herramientas y armas, mucho más valioso que el oro, aunque menos bonito. Se buscaban tan asiduamente que en los tiempos modernos no se ha podido encontrar nunca ni un fragmento de meteorito de hierro en aquellas zonas en las que la civilización floreció antes del año 1500 a. de JC. Las culturas de los tiempos anteriores a la Edad de Hierro los encontraron y los utilizaron en su totalidad.

Sin embargo, los hallazgos de meteoritos no se relacionaron con los meteoros. ¿Por qué habían de conectarse? Un meteorito era, simplemente, un trozo de hierro encontrado en el suelo; un meteoro era un relámpago visto muy alto en el cielo (1); ¿por qué habría de existir ninguna conexión?

Aunque existen leyendas de objetos que caían de los cielos. La «piedra negra» de La Caaba, sagrada para los musulmanes, podría ser un meteorito que fue visto al caer. El objeto

que se adoraba originariamente en el templo de Artemis, en Éfeso, pudo ser otro. Sin embargo, los científicos de los tiempos modernos rechazan estas historias, y consideran como superstición las leyendas de objetos que caían del cielo.

En 1807, un químico americano de Yale, Benjamín Silliman (1779-1864), y un colega suyo, informaron haber presenciado la caída de un meteorito. El presidente Thomas Jefferson, al oír el informe, declaró que era más fácil creer que dos profesores yanquis mintieran que el que las piedras cayesen del cielo. Sin embargo, la curiosidad científica se acrecentó con los informes repetidos, y aunque Jefferson fuese escéptico, el físico francés Jean Baptiste Biot (1774-1862) en 1803, ya había escrito un informe sobre meteoritos que llevaba a la aceptación de tales caídas como un auténtico fenómeno.

En su mayor parte, los meteoritos que han caído en zonas civilizadas han sido pequeños y no han causado un daño especial. Tan sólo hay un informe respecto a un ser humano golpeado por un meteorito, que se refiere a una mujer de Alabama que hace algunos años recibió un golpe de refilón que la magulló un muslo.

El mayor meteorito conocido hasta hoy se halla en el suelo de Namibia, en el Sudoeste de África. Su peso se estima en unas 66 toneladas. El mayor meteorito de hierro exhibido se encuentra en el Hayden Planetarium de Nueva York, y pesa unas 34 toneladas.

Los meteoritos, aun menores que los mencionados, podrían causar un daño considerable a las propiedades y matar a centenares, incluso millares de personas, si cayeran en una zona urbana de población densa. Sin embargo, ¿cuántas probabilidades hay de que algún día pudiera caer una gran lluvia? Allá arriba, en el espacio, hay en libertad algunas montañas bastante grandes, que podrían causarnos graves daños si cayeran sobre nosotros.

Podríamos decir que los objetos grandes que se hallan en el espacio (que son muchos menos que los objetos pequeños, naturalmente) se hallan en órbitas que no se interponen en la de la Tierra y nunca se acercan a nosotros. Esto explicaría por qué antes de ahora no hemos sido golpeados realmente, y por tanto, por qué no debemos temer un golpe serio para el futuro.

Sin embargo, este argumento no es tranquilizador por dos razones. En primer lugar, aunque los objetos meteóricos grandes tengan órbitas que no se cruzan con la nuestra, futuras perturbaciones pueden alterar esas órbitas y colocar el objeto en un curso de colisión potencial. En segundo lugar, se han producido unas caídas importantes; digamos que lo suficientemente grandes para destruir una ciudad. Y si no han sucedido en realidad en tiempos históricos, no han caído mucho antes, geológicamente hablando.

No es fácil obtener pruebas de estas caídas. Imaginemos un enorme golpe que hubiera ocurrido hace algunos cientos de millares de años. Es probable que el meteorito se hubiese hundido profundamente en el suelo de donde no hubiera podido recuperarse con facilidad para ser estudiado. Hubiera abierto un gran cráter, claro está, pero la acción del viento, el agua y la vida lo hubieran alisado por completo en unos cuantos millares de años.

A pesar de ello, se han descubierto señales de formaciones circulares, algunas veces llenas de agua, total o parcialmente, con facilidad visibles desde el aire. Su redondez, combinada con las diferencias evidentes de las formaciones que le rodean, justifican la sospecha de que allí existe un «cráter fósil» y una observación más próxima podría confirmarlo. En diversos puntos de la Tierra se han llegado a localizar unos veinte de tales cráteres fósiles, todos ellos formados probablemente dentro el último millón de años.

El mayor cráter fósil definitivamente identificado es el cráter Ungava-Quebec, en la península de Ungava, que ocupa la parte más septentrional de la provincia canadiense de Quebec. Fue descubierto en 1950 por Fred W. Chubb, un explorador canadiense (de modo que algunas veces es conocido como el cráter Chubb), por medio de fotografías aéreas que mostraban la existencia de un lago circular rodeado por otros lagos circulares, de menor tamaño. El cráter tiene 3,34 kilómetros (2,07 millas) de diámetro y 0,361 kilómetros (401 pies) de profundidad. La orilla del lago se alza 0,1 kilómetro (330 pies) por encima de la campiña que la rodea.

Es evidente que si se repitiera un golpe como éste, y un cuerpo meteórico semejante cayera sobre Manhattan, destruiría toda la isla, causaría graves daños en las cercanas Long Island y New Jersey y mataría varios millones de personas.

Cerca de la ciudad de Winslow, en Arizona, existe un cráter menor, pero mucho mejor conservado. En esa zona seca no ha habido agua y poca vida para causar erosión en el cráter. Sigue pareciendo reciente, y se asemeja de manera notable como un primo segundo al tipo de cráter que observamos en la Luna.

Se descubrió en 1891, pero la primera persona que insistió en que el cráter era el resultado de un impacto meteorítico, y no un volcán extinguido, fue Daniel Moreau Barringer, en 1902. Por tanto, se conoce como el «Gran Cráter Meteorítico de Barringer», y algunas veces, simplemente, como «Cráter del Meteoro».

El «Cráter del Meteoro» tiene un diámetro de 1,2 kilómetros (0,75 millas) y una profundidad de unos 0,18 kilómetros (600 pies). Su borde se eleva unos 0,060 kilómetros (200 pies) por encima de la Tierra que le rodea. Es posible que el cráter se formase hace unos 50.000 años, pero algunos estiman un tiempo más corto de 5.000 años. Algunas personas calculan que el peso del meteorito que produjo el cráter debía de ser de unas 12.000 toneladas y otras lo calculan en 1,2 millones de toneladas. Esto significa que el meteorito pudo ser de 0,075 a 0,306 kilómetros (de 250 a 1,200 pies) de diámetro.

Pero todo esto pertenece al pasado. ¿Qué podemos esperar para el futuro? El astrónomo Ernst Öpick estima que cualquier objeto que rozara la Tierra debería viajar por su órbita durante un promedio de 100 millones de años antes de chocar con nuestro planeta. Si suponemos que existen dos mil objetos semejantes suficientemente grandes para arrasar una ciudad, o mucho peor, en caso de chocar, en este caso el intervalo de tiempo medio entre tales catástrofes únicamente es de 50.000 años.

¿Cuáles son las posibilidades de que choque contra un blanco determinado, por ejemplo, la ciudad de Nueva York? El área de la ciudad de Nueva York representa 1,5 millonésimas del área de la Tierra. Esto significa que el intervalo medio entre las colisiones que podrían destruir la ciudad de Nueva York, es de unos treinta y tres mil millones de años. Si contamos con que el área total de las ciudades más pobladas de la Tierra es de cien veces el área de Nueva York, el intervalo medio entre las colisiones destructoras de ciudades terrestres es de trescientos treinta millones de años.

No es un problema que deba preocuparnos, por lo que no es sorprendente que en los registros escritos de la civilización humana (que data únicamente de hace cinco mil años) no exista una descripción clara de una ciudad destruida por un meteorito caído sobre ella (1).

No es necesaria la caída directa de un gran meteorito sobre una ciudad para que ésta sufra daños considerables. Si cayera en el mar, según todas las probabilidades así podría suceder siete veces de cada diez, provocaría una marejada que asolaría las costas, ahogando a la gente y destruyendo la obra del hombre. Si el promedio de tiempo entre dos colisiones es de 50.000 años, el promedio de las marejadas producidas por la caída de un meteorito sería de 71.000 años.

Naturalmente, lo peor de todo ello es que, por ahora, no contamos con ninguna posibilidad de que recibamos aviso previo con respecto a la colisión de un meteoro. El objeto que colisionaría con la Tierra sería lo bastante pequeño y se movería con suficiente rapidez para alcanzar la atmósfera terrestre sin ser visto. Cuando comenzara a brillar, sólo transcurrirían escasos minutos antes del choque.

Aunque la catástrofe del choque de un gran meteoro es más improbable que cualquiera de los otros cataclismos que he mencionado hasta aquí, se diferencia de ellos de dos maneras. En primer lugar, aunque puede ser desastroso y causar un daño incalculable, no es catastrófico en el sentido que lo sería la conversión del Sol en gigante rojo. Un meteorito no podrá destruir la Tierra probablemente, ni barrer de ella a la Humanidad, ni tan sólo hacer que se tambalee nuestra civilización. En segundo lugar, es posible que no pase mucho tiempo sin que este tipo especial de desastre pueda ser evitado por completo, incluso mucho antes de que se produzca

el primer golpe desastroso del futuro.

Estamos avanzando en el espacio y dentro de este mismo siglo pueden haberse establecido en la Luna y alrededor de la Tierra complejos observatorios astronómicos. Sin una atmósfera que se interponga, los astrónomos de tales observatorios tendrán más probabilidades de percibir cuerpos que rocen con la Tierra. Podrán vigilar esos cuerpos peligrosos más de cerca y calcular con más minuciosidad sus órbitas. En esto se incluyen aquellos cuerpos rozadores de la Tierra demasiado pequeños para ser vistos desde la superficie terrestre, pero suficientemente grandes para destruir una ciudad, y que, a causa de su gran número, son mucho más peligrosos que los auténticos gigantes.

Quizá dentro de cien años, a partir de ahora, o de mil años, algún astrónomo del espacio *alzará la* vista de su computadora para exclamar: «¡órbita de encuentro cercano!» Y se pondrá en marcha un contraataque, que habrá estado preparado para hacer frente a este momento durante décadas, o siglos. Se saldrá al paso de la roca peligrosa enviando a su encuentro un poderoso mecanismo que la intercepte y la haga estallar en un punto adecuado del espacio calculado con anterioridad. La roca estallaría y se evaporaría transformándose de roca en un conglomerado de guijarros. La Tierra evitaría el daño, y, en el peor de los casos, quedaría expuesta tan sólo a una espectacular lluvia de meteoritos.

Es posible que todos los objetos que mostrasen el más ligero potencial para aproximarse demasiado, y que los astrónomos opinaran carecía de ulterior valor científico, se harían estallar. Por consiguiente, este tipo especial de desastre nunca más habría de preocuparnos.

Capítulo VIII

EL RETRASO DE LA TIERRA

Mareas

Según ya se ha dicho, la posibilidad de una catástrofe de tercera clase, la destrucción de la Tierra como hogar de la vida por algún proceso que no involucre al Sol, por la invasión del espacio más allá de la órbita lunar, es algo que no debe preocuparnos. O es muy improbable, o no es realmente catastrófico, o, en algunos casos, está a punto de ser evitable. Sin embargo, ahora debemos preguntarnos si hay algo que pueda producir una catástrofe de tercera clase que no se relacione con objetos de más allá del sistema Tierra-Luna. Para comenzar, entonces, hemos de considerar a la propia Luna.

La Luna es, entre todos, con gran ventaja, el cuerpo celeste de gran tamaño más cerca de la Tierra. La distancia de la Luna a la Tierra, de centro a centro, es de 384.404 kilómetros (238.868 millas). Si la órbita de la Luna alrededor de la Tierra fuese perfectamente circular, ésta sería su distancia en todo momento. Sin embargo, la órbita es ligeramente elíptica, lo cual significa que la Luna puede acercarse hasta 356.394 kilómetros (221.463 millas) y puede retroceder hasta 406.678 kilómetros (252.710 millas).

La Luna está únicamente a 1/100 la distancia de Venus, cuando este último astro se halla en su distancia más próxima de la Tierra; solamente 1/140 la distancia de Marte en su momento más próximo y solamente 1/390 la distancia del Sol en su momento más próximo. Ningún objeto mayor que el asteroide Hermes, observado una vez, que ciertamente no tiene más de 1 kilómetro de diámetro, se ha acercado a la Tierra a una distancia tan próxima como la de la Luna.

Para señalar de otro modo la proximidad de la Luna, es el único cuerpo astronómico lo suficientemente cerca (hasta el momento) para que el ser humano pueda alcanzarlo, de modo que podemos decir que está a tres días de distancia de nosotros. Llegar a la Luna en un cohete requiere el mismo tiempo que cruzar los Estados Unidos en ferrocarril.

¿Representa algún peligro la extraordinaria proximidad de la Luna? ¿Podría caer por alguna razón determinada y chocar contra la Tierra? Si así ocurriera, sería una catástrofe mucho peor que cualquier colisión con un asteroide, pues la Luna es un cuerpo de gran tamaño. Tiene un diámetro de 3.476 kilómetros (2.160 millas), o algo más de la cuarta parte de la Tierra. Su masa es 1/81 de la Tierra y cincuenta veces la del mayor asteroide.

Si la Luna cayese sobre la Tierra, las consecuencias de la colisión serían ciertamente fatales para toda la vida en nuestro planeta. Ambos cuerpos podrían aplastarse y romperse en la colisión. Por suerte, como ya se dijo en el capítulo anterior, no hay posibilidad de que esto suceda, excepto como parte de una catástrofe todavía mayor. El *momentum* de la Luna no puede sufrir un cambio súbito y total, de modo que cayera en el sentido literal de la palabra, excepto en caso de transferencia de un tercer cuerpo de gran tamaño que se le acercara lo suficiente desde la dirección adecuada y a la velocidad apropiada. Las posibilidades de que algo así suceda carecen totalmente de importancia, de modo que podemos eliminar cualquier temor de que la Luna abandone su órbita.

Tampoco hay razón para temer que algo suceda a la Luna por sí misma, que pueda representar una catástrofe para la Tierra. No existe ninguna posibilidad de que la Luna explote y la Tierra reciba el bombardeo de sus fragmentos. Geológicamente, la Luna está muerta y su calor interno no basta para producir cualesquiera efectos que puedan cambiar notablemente su estructura, y ni tan siquiera su superficie.

De hecho, podemos suponer confiados que la Luna seguirá siendo como es hoy, dejando aparte unos lentísimos cambios, y que su cuerpo no representará ningún peligro hasta el momento en que el Sol se dilate y se convierta en un gigante rojo, y ambas, la Luna y la

Tierra, sean destruidas.

Sin embargo, la Luna puede afectarnos sin que para ello tenga que chocar parcial o totalmente con la Tierra. A través del espacio, la Luna ejerce una influencia gravitacional poderosa. De hecho, queda en segundo lugar con respecto a la del Sol.

La influencia gravitacional de cualquier objeto astronómico sobre la Tierra depende de la masa de ese objeto, y el Sol tiene una masa que es veintisiete millones de veces la de la Luna. Sin embargo, la influencia gravitacional disminuye también con el cuadrado de la distancia. La distancia del Sol desde la Tierra es trescientas noventa veces la de la Luna, y 390x390=152.100. Si dividimos esta cifra por 27.000.000, el resultado es que la atracción gravitacional del Sol sobre la Tierra es ciento setenta y ocho veces la atracción gravitacional de la Luna sobre nosotros.

Aunque la atracción de la Luna sobre nosotros es solamente el 0,56 % de la del Sol, sigue siendo, a pesar de ello, muy superior a cualquier otra atracción gravitacional sobre la Tierra. La atracción de la Luna sobre nosotros es ciento seis veces mayor que la de Júpiter, en el momento de su máxima proximidad a la Tierra, y ciento sesenta y siete veces la de Venus en iguales condiciones. La atracción sobre la Tierra de otros cuerpos celestes que no sean Júpiter y Venus, es menor todavía.

Por consiguiente, ¿podrá la atracción gravitacional de la Luna sobre la Tierra ser la semilla de una catástrofe al ser tan grande si la comparamos a todos los cuerpos excepto el Sol? A primera vista, la respuesta parece ha de ser negativa, ya que la atracción gravitacional del Sol es mucho mayor que la de la Luna. Y, dado que el Sol no nos causa problemas, ¿por qué habría de causarlos la Luna?

Esto sería cierto si los objetos astronómicos reaccionaran del mismo modo a la atracción gravitacional en todos los puntos, pero no es así. Volvamos a la cuestión de los efectos de la marea, que se han mencionado brevemente en el capítulo anterior, y considerémoslo con mayor detalle respecto a la Luna.

La superficie de la Tierra que da cara a la Luna está a una distancia media de 378.026 kilómetros (234.905 millas) desde el centro del satélite. La superficie de la Tierra oculta al satélite se halla más lejos del centro de la Luna. Hay que añadir el grosor de la Tierra, y, por tanto, se halla a 390.782 kilómetros (242.832 millas) de distancia.

La fuerza de la atracción lunar disminuye con el cuadrado de la distancia. Si la distancia del centro de la Tierra hasta el centro de la Luna se considera como 1, la distancia de la superficie de la Tierra encarada directamente a la Luna es de 0,983 y la distancia de la superficie de la Tierra situada en el lado opuesto de la Luna es de 1,017.

Si la atracción gravitacional de la Luna en el centro de la Tierra se establece en 1, la atracción de la Tierra en la superficie que encara la Luna es de 1,034, y la atracción de la superficie de la Tierra en el lado opuesto alejado de la Luna es de 0,966. Esto significa que la atracción lunar sobre la Tierra en su superficie más cercana es un 7 % mayor que en la superficie más alejada.

El resultado de la atracción lunar sobre la Tierra, cambiante con la distancia, según hemos visto, es que la Tierra se estira en dirección de la Luna. El lado hacia la Luna está más atraído que el centro, y el centro está, a su vez, atraído más fuertemente que el lado alejado de la Luna.

Como resultado, la Tierra se curva en cada lado. Una curvatura tiende hacia la Luna, con un impulso mayor que el resto de la estructura terrestre por así decirlo. La otra curvatura está en el lado alejado de la Luna, en movimiento retardado detrás del resto, por así decirlo.

Dado que la Tierra está constituida de roca firme que no cede mucho ni ante fuertes estiramientos, la curvatura del cuerpo sólido de la Tierra es muy pequeña, pero existe. Sin embargo, el agua del océano es más flexible y forma una gran curvatura.

Mientras la Tierra gira, los continentes pasan por la curvatura más alta del agua encarada con la Luna. El agua se adentra alguna distancia en las costas y después retrocede: marea alta y marea baja. Al otro lado de la Tierra, la cara alejada de la Luna, los continentes

que giran pasan por la otra curvatura unas doce horas y media más tarde (la media hora extra se produce por el hecho de que la Luna se ha movido un poco en el intervalo). De esta manera, cada día hay dos mareas altas y dos mareas bajas.

El efecto de la marea producido en la Tierra por cualquier cuerpo está en proporción a su masa, pero disminuye con el cubo de su distancia. El Sol (para repetirlo) es veintisiete millones de veces tan masivo como la Luna y está a trescientas noventa veces su distancia. El cubo de 390 es justamente unos 59.300.000. Si dividimos la masa del Sol (en relación a la de la Luna) por el cubo de su distancia (en relación a la Luna) resulta que el efecto de marea del Sol sobre la Tierra es 0,46 veces el de la Luna.

Concluimos, por tanto, que la Luna es la que contribuye mayormente a los efectos de marea sobre la Tierra, y el Sol es un menor contribuyente. Todos los demás astros no poseen en absoluto ningún efecto de marea sobre la Tierra que pueda medirse.

Ahora debemos preguntarnos si la existencia de las mareas pueden, de algún modo, presagiar una catástrofe.

El día más largo

Hablar de mareas y de catástrofes al mismo tiempo parece extraño. Durante toda la historia humana han existido las mareas y siempre se han mostrado regulares y previsibles. Han sido útiles además, ya que los navíos solían salir con la marea alta cuando el agua los elevaba por encima de cualquier clase de obstáculos ocultos y el agua en retroceso los empujaba en la dirección que el navío debía emprender.

Las mareas también pueden ser útiles en el futuro, pero de otro modo. Durante la marea alta, el agua podría elevarse hasta un depósito del que emergería, al bajar la marea, poniendo en marcha una turbina. De esta manera, las mareas podrían proporcionar al mundo un suministro infinito de electricidad. ¿Dónde está la catástrofe?

Pues bien, entre tanto gira la Tierra, y mientras el terreno seco pasa por la curvatura hídrica, el agua que asciende y desciende por la orilla ha de vencer una resistencia friccional a su paso, no sólo de la propia orilla, sino de aquellas partes del fondo del mar en donde el océano es especialmente poco profundo. Parte de la energía de la rotación de la Tierra se consume en vencer esta fricción.

Otra cosa, mientras la Tierra gira, el cuerpo sólido del planeta también se curva, aunque sólo sea una tercera parte de lo que lo hace el océano. Sin embargo, la curvatura de la Tierra se produce a expensas de deslizamientos de roca contra roca, a medida que la corteza tiende hacia arriba y se afloja una y otra vez. Parte de la energía de la rotación de la Tierra queda consumida también. Naturalmente, la energía no es consumida realmente. No desaparece, sino que se convierte en calor. En otras palabras, como resultado de las mareas, la Tierra gana un poco de calor y pierde algo de su velocidad de rotación. El día se alarga.

La Tierra es tan masiva y gira tan rápidamente que posee una enorme reserva de energía. Aunque una gran parte de ella (a escala humana) se consuma y se convierta en calor al vencer la fricción de las mareas, el día se alargaría muy ligeramente. Pero ese diminuto aumento en la longitud del día tendría, no obstante, un efecto acumulativo considerable.

Supongamos, por ejemplo, que el día comenzara con su presente duración de 86.400 segundos y que fuese, como promedio, un segundo más largo cada año con relación al anterior. Al final de un siglo, el día sería 100 segundos, o 1 minuto y 1/3 más largo. La diferencia sería casi imperceptible.

Pero supongamos que usted comenzara el siglo con un reloj que marcara siempre la hora con exactitud. Al final del segundo año, cada día ganaría un segundo comparado con el Sol; al tercer año, aumentaría dos segundos cada día; al cuarto año, ya ganaría tres segundos, y así sucesivamente. Al finalizar el siglo, cuando el número de días sería de 36.524, calculando por salidas y puestas de sol, el reloj habría registrado 36.534,8 movimientos de 86.400 días-

segundo. Es decir, aumentando la duración del día un segundo cada año, acumularíamos un error de casi once horas solamente en un siglo.

Como es natural, el día aumenta en la actualidad en una proporción mucho más lenta.

En los tiempos antiguos, algunos eclipses quedaron registrados a una hora determinada del día. Calculando hacia atrás, nos hemos dado cuenta de que hubieran debido tener lugar a otra hora del día. La discrepancia se debe al resultado acumulado de un alargamiento del día muy lento.

Podría argumentarse que los antiguos sólo disponían de unos métodos muy primitivos para conocer la hora y su concepto del registro del tiempo era diferente del nuestro. Por tanto, resultaría muy arriesgado sacar conclusiones basándonos en sus informes sobre la hora de los eclipses.

Sin embargo, no es tan sólo el tiempo lo que cuenta. Un eclipse total de Sol sólo puede verse desde una zona pequeña de la Tierra. Supongamos que un eclipse hubiese de tener lugar sólo una hora antes del tiempo calculado, la Tierra hubiera tenido menos tiempo para girar, y, en la zona templada, el eclipse se hubiera producido quizá 1.200 kilómetros (750 millas) más lejos hacia el Este de lo que nuestros cálculos daban a entender.

Aunque no confiemos totalmente en lo que los antiguos nos han dicho sobre la hora de un eclipse, podemos estar seguros de que informaron con sumo cuidado sobre el *lugar* del eclipse y eso nos dirá precisamente todo lo que deseamos conocer. Por sus informes sabemos la cifra del error acumulativo, y, partiendo de ahí, la proporción del alargamiento del día. Así es como sabemos que el día de la Tierra está aumentando a razón de un segundo cada 62.500 años.

Esto no tiene nada de catastrófico. El día es ahora aproximadamente 1/14 de segundo más largo de lo que era cuando se construyeron las pirámides. Seguro que esa discrepancia es lo suficientemente pequeña para ser ignorada. ¡Seguro! La ganancia es de 16 segundos en un millón de años y hay muchos millones de años en la historia de la Tierra.

Supongamos que consideremos la situación tal como era hace cuatrocientos millones de años cuando la vida, que había existido en el mar cerca de tres mil millones de años, finalmente comenzaba a emerger y establecerse en la Tierra. En los últimos cuatrocientos millones de años el día habría ganado 6.400 segundos, si el aumento se ha producido en la misma proporción durante todo ese tiempo.

Por consiguiente, hace cuatrocientos millones de años, el día hubiera sido 6.400 segundos más corto de lo que es ahora. Dado que 6 400 segundos equivalen a casi 1,8 horas, la vida se hubiera arrastrado hacia la Tierra en un mundo en el que el día sólo tenía 22,2 horas de duración. Puesto que no tenemos razón alguna para suponer que la duración del año haya cambiado durante ese intervalo, eso significaría también que en un año había 395 días más cortos.

Todo esto sólo son cálculos. ¿Podemos encontrar evidencia directa? Al parecer, existen fósiles de coral que datan de unos cuatrocientos millones de años aproximadamente. Esos corales crecen durante el día a un ritmo diferente que por la noche, y en una proporción durante el verano distinta a la del invierno. Crecimiento que deja marcas en su revestimiento, semejantes a tres anillos, que permiten calcular los días y los años al mismo tiempo.

En 1963, el paleontólogo americano John West Wells estudió cuidadosamente estos fósiles de coral y descubrió unas cuatrocientas marcas finas por cada marca más gruesa. Esto indicaba que los años tenían unos 400 días en aquellas épocas pretéritas de hace cuatrocientos millones de años. Esto significaba que cada día tenía una duración de 21,9 horas.

Datos que están muy cerca de los cálculos. De hecho, están sorprendentemente próximos, pues hay razones para suponer que la proporción de aumento del día (o disminución, si se retrocede en el tiempo) no es por fuerza constante. Existen factores que pueden cambiar la proporción de pérdida de la energía rotacional. La distancia de la Luna (como veremos después) cambia con el tiempo; y lo mismo sucede con la configuración de los continentes, la profundidad de los mares, y así sucesivamente.

Sin embargo supongamos (sólo por suponer) que el día ha estado alargándose en una proporción constante durante toda la historia de la Tierra. En ese caso, ¿con qué rapidez giraba la Tierra hace cinco mil millones de años cuando estaba recién formada? Es fácil de calcular dejando margen para un cambio constante en la duración del día. El período de rotación de la Tierra, en su nacimiento debió de haber sido de 3,6 horas.

Naturalmente, esto no ha de ser así a la fuerza. Cálculos más complicados indican que el día debió de tener una duración de 5 horas en su momento más corto. Pudo ocurrir también, que la Luna no acompañara a la Tierra desde el principio, sino que quedara capturada algún tiempo después de la formación de la Tierra y que el retraso producido por las mareas comenzara mucho después de los cinco mil millones de años calculados, quizá mucho más recientemente. En ese caso el día puede haber tenido 10 horas de duración o hasta 15 horas en los primeros días de la Tierra.

Pero no podemos estar seguros. No disponemos de evidencia directa respecto a la duración del día en el período inicial de la historia de la Tierra.

De cualquier modo, un día más corto en un pasado lejano, por sí mismo, no tiene gran importancia para la vida. Un punto determinado de la Tierra dispondría de menor tiempo para calentarse durante un día corto, y menos tiempo para enfriarse durante una noche corta. Por tanto, las temperaturas de la Tierra primitiva mostrarían tendencia a ser algo más equilibradas de lo que son hoy día y es perfectamente evidente que los organismos vivientes podrían, y así fue, vivir en ellas. De hecho, las condiciones pudieron ser más favorables para la vida en aquellos tiempos de lo que son ahora.

Sin embargo, ¿qué sucederá en el futuro con el continuo alargamiento del día?

El retraso lunar

A medida que pasen millones de años, la duración del día seguirá alargándose, pero las mareas no se detendrán. ¿Dónde terminará eso? Podemos vislumbrar el fin si consideramos que la Luna está sometida a la influencia del flujo de la Tierra del mismo modo que la Tierra está sujeta al de la Luna.

La Tierra posee ochenta y una veces la masa de la Luna, de modo que si todo fuese equivalente, su influencia de atracción sobre la Luna debería ser ochenta y una veces mayor que la influencia de la Luna sobre la Tierra. Sin embargo, no todo es equivalente. La Luna es más pequeña que la Tierra, y la distancia a través de la Luna es solamente un poco más de la cuarta parte la distancia a través de la Tierra. Por esa razón, el impulso gravitacional de la Tierra sufre un descenso más pequeño en un lado de la Luna que en el otro y eso disminuye el efecto de atracción. Teniendo en cuenta el tamaño de la Luna, el impulso de atracción sobre la Luna es treinta y media veces el de la Luna sobre la Tierra. .

No obstante, eso significa que la Luna está sometida a pérdidas Por fricción mucho mayores en su movimiento de rotación, y puesto que posee masa considerablemente menor que la de la Tierra, tiene también menos energía rotacional que perder. Por tanto, el período de rotación de la Luna debe de haberse prolongado en una proporción mucho más rápida que el de la Tierra, por lo que el período rotacional de la Luna debe de ser ahora muy largo.

Y así es, en efecto. El período de rotación de la Luna, en relación a las estrellas es ahora de 27,3 días. Éste es también el período de rotación en torno a la Tierra con respecto a las estrellas, de modo que la Luna, al girar, presenta siempre la misma cara a la Tierra.

Esto no ocurre por accidente, o por una coincidencia caprichosa. El período de rotación de la Luna se ha ido retrasando hasta ser lo bastante lento para que en todo momento presente la misma cara a la Tierra.

Después de haber ocurrido todo esto, la curvatura de la marea siempre estaba presente en los mismos puntos de la superficie de la Luna; una cara expuesta siempre hacia la Tierra

del lado que la Tierra podía ver, y la otra oculta a la Tierra del lado que la Tierra nunca veía. La Luna ya no gira con relación a esa curvatura de marea, por lo cual no existe la conversión friccional de energía de rotación en calor. Por decirlo de alguna manera, la Luna está gravitacionalmente fija en un lugar.

Si la rotación de la Tierra está retrasándose, existe la posibilidad de que gire con tanta lentitud que siempre expondrá el mismo lado a la Luna, y la Tierra, también, quedará gravitacionalmente fija en un lugar.

¿Significa esto que la Tierra girará con tal lentitud que sus días llegarán a tener una duración de 27,3 de los días actuales? No. Será peor que eso, por el siguiente motivo: se puede convertir la energía de la rotación en calor, ya que es simplemente una manera de convertir una forma de energía en otra y no contraviene las leyes de la conservación de la energía. Sin embargo, un objeto que gira tiene también su *momentum* angular y esto no puede convertirse en calor. Sólo puede transferirse.

Si consideramos el sistema de la Tierra-Luna, ambas, la Tierra y la Luna poseen cada una un *momentum* angular por dos razones: cada una de ellas gira alrededor de su eje, y también lo hacen alrededor de un centro común de gravedad. Este último se encuentra en la línea que conecta el centro de la Luna y el centro de la Tierra. Si la Tierra y la Luna poseyeran igual masa, el centro común de gravedad estaría situado justo a medio camino entre ambas. Pero dado que la Tierra es más masiva que la Luna, el centro común de gravedad está situado más cerca del centro de la Tierra. De hecho, dado que la Tierra es ochenta y una veces tan masiva como la Luna, el centro común de gravedad está ochenta y una veces más alejado del centro de la Luna que del centro de la Tierra.

Esto significa que el centro común de gravedad está situado (considerando la Luna en su distancia media de la Tierra) a 4.746 kilómetros (2.949 millas) del centro de la Tierra y 379.658 kilómetros (235.919 millas) del centro de la Luna. Por consiguiente, el centro común de gravedad está 1.632 kilómetros (1.014 millas) por debajo de la superficie de la Tierra en la cara expuesta a la Luna.

Mientras que la Luna se traslada por una gran elíptica cada 27,3 días alrededor del centro común de gravedad, el centro de la Tierra sigue una elíptica mucho menor durante estos 27,3 días. Los dos cuerpos se mueven de tal modo que el centro de la Luna y el centro de la Tierra siempre permanecen exactamente en los lados opuestos del centro común de gravedad.

A medida que la Luna y la Tierra alargan sus períodos de rotación por el efecto de la fricción de marea, cada una de ellas pierde su *momentum* angular rotacional. Para asegurar la ley de conservación del *momentum* angular, cada una de ellas debe ganar *momentum* angular relacionado con su órbita alrededor del centro de gravedad en compensación exacta con la pérdida de *momentum* angular relacionado con su rotación alrededor de su propio eje. Este aumento de *momentum* angular de rotación se lleva a cabo, tanto para la Tierra como para la Luna, alejándose del centro común de gravedad y describiendo una órbita más amplia a su alrededor.

En otras palabras, cuando la Luna o la Tierra, o ambas, alargan su período de rotación, se alejan una de otra y de este modo el *momentum* angular total del sistema Tierra-Luna continúa siendo el mismo. En un pasado muy lejano, cuando la Tierra giraba más rápidamente sobre su eje y la Luna no se había retrasado todavía hasta el punto de fijación gravitacional, los dos cuerpos estaban más cerca. Tenían más *momentum* angular rotacional, pero menos *momentum* angular de giro. Naturalmente, cuando la Luna y la Tierra estaban más próximas, daban vueltas una alrededor de la otra en menos tiempo.

Por ello, hace cuatrocientos millones de años, cuando el día de la Tierra tenía una duración de 21,9 horas, la distancia del centro de la Luna hasta el centro de la Tierra era solamente el 96 % de lo que es en la actualidad. La Luna estaba solamente a 370.000 kilómetros (230.000 millas) de la Tierra. Si retrocedemos en los cálculos, basándonos en estos datos, resulta que hace cinco mil millones de años, cuando la Tierra se formó, la Luna estaba

únicamente a 217.000 kilómetros (135.000 millas) de la Tierra, es decir, algo menos de la mitad de su distancia actual.

El cálculo no es correcto, pues a medida que la Luna se acerca a la Tierra (al mirar atrás en el tiempo), el efecto de marea se acrecienta. Lo más probable es que en aquellos principios de la historia de la Tierra la Luna estuviera más cerca todavía, quizás a una distancia de 40.000 kilómetros (25.000 millas).

Mirando ahora hacia el futuro, a medida que el período de rotación de la Tierra se retrasa, la Luna y la Tierra se irán separando lentamente. La Luna está alejándose lentamente en espiral de la Tierra. En cada órbita alrededor de la Tierra, aumenta su distancia media aproximadamente en unos 2,5 milímetros (0,1 pulgadas).

La rotación de la Luna se retrasará de manera muy gradual, así que continuará de acuerdo con la prolongación creciente del mes. Probablemente, cuando el período de rotación de la Tierra se alargue hasta que también la Tierra exponga siempre la misma cara a la Luna, ésta habrá retrocedido tan lejos que el mes tendrá 47 días de duración. En aquel tiempo, la rotación de la Luna durará 47 días como la de la Tierra. Los dos cuerpos girarán rígidamente, como unas pesas conectadas por un eje invisible. La separación entre la Tierra y la Luna, de centro a centro, será en esa época de 480.000 kilómetros (300.000 millas) de distancia.

La aproximación de la Luna

Si la Tierra y la Luna no sufrieran los efectos de atracción, ese giro de pesas continuaría eternamente. Sin embargo, seguirían existiendo los efectos de marea por la atracción del Sol. Efectos que se producirían de un modo complicado acelerando las rotaciones de la Tierra y de la Luna, y acercando los dos cuerpos en una proporción más lenta de la que ahora están separándose. Al parecer, esta aproximación creciente continuaría por tiempo indefinido, de modo que es de suponer que la Luna acabaría cayendo en la Tierra (aunque he empezado diciendo que eso no podía ocurrir), ya que su *momentum* angular de giro sería transferido por completo al *momentum* angular de rotación. Sin embargo, no caerá en el sentido literal de la palabra, aunque se acercará a nosotros en una espiral sumamente lenta en disminución gradual. Pero ni aun así caerá realmente, pues no se establecerá ningún contacto.

A medida que los dos cuerpos se aproximen cada vez más, aumentarán los efectos de atracción con el cubo de la distancia que disminuye. En el momento en que la Tierra y la Luna estén separadas, de centro a centro, tan sólo por una distancia de 15.000 kilómetros (9.600 millas), de modo que las dos superficies se hallen a una distancia de 7.400 kilómetros (4.600 millas) el efecto de atracción de la Luna sobre la Tierra será quince mil veces tan intenso como es ahora. El efecto de atracción de la Tierra sobre la Luna será todavía treinta y dos veces y media más poderosa todavía, o cerca de quinientas mil veces el efecto de atracción de la Luna sobre la Tierra hoy día.

Por consiguiente, la atracción sobre la Luna será tan grande en aquellos momentos, que el satélite terrestre simplemente estallará en pequeños fragmentos. Los fragmentos lunares, como resultado de colisiones (y nuevas fragmentaciones) se desparramarán por la órbita de la Luna y la Tierra acabará con un anillo, como el de Saturno, pero mucho más denso y brillante.

¿Y qué le sucederá a la Tierra mientras ocurra todo esto? Cuando la Luna se acerque a la Tierra, su efecto de marea sobre la Tierra aumentará enormemente. La Tierra no correrá el peligro de estallar, pues la atracción sobre ella será considerablemente menor que el efecto de atracción sobre la Luna. Además, el mayor campo gravitacional de la Tierra la mantendrá firme contra la atracción con más fuerza que en el caso de la Luna. Y, naturalmente, cuando la Luna estalle y el campo gravitacional de sus fragmentos se esparciera alrededor de la Tierra, la atracción se reducirá muchísimo.

Sin embargo, justamente antes de que la Luna estalle, las mareas serán tan enormes en la Tierra, que el océano, curvándose a una altura de varios kilómetros, cubrirá por completo los continentes, en avance y retroceso. Y puesto que el período rotacional de la Tierra puede ser inferior a unas diez horas, en esa época, las mareas ascenderán y retrocederán cada cinco horas.

No es probable que ni la tierra ni el mar, en semejantes condiciones, posean la estabilidad necesaria para poder albergar formas de vida, excepto aquellas sumamente especializadas y muy simples en su estructura.

No obstante, imaginemos que los seres humanos, si entonces existen todavía, hayan desarrollado una civilización subterránea a medida que la Luna se aproximaba (aproximación que sería muy lenta realmente y no constituiría una sorpresa). Tampoco esto podría salvarles, pues bajo los impulsos de la marea, la misma esfera terrestre se hallaría sujeta a constantes terremotos.

Sin embargo, no es necesario preocuparse sobre el destino de la Tierra por el acercamiento de la Luna, pues mucho antes la Tierra ya sería inhabitable.

Contemplemos otra vez la visión de la Tierra y la Luna dando vueltas una alrededor de otra, al estilo de las pesas, cada 47 días. En ese caso, la Tierra ya sería un mundo muerto. Imaginemos la superficie de la Tierra expuesta a la luz del Sol por un período de 47 días. Seguramente la temperatura aumentaría lo suficiente para hervir el agua. Imaginemos la superficie de la Tierra expuesta a la oscuridad durante un período de 47 días. La temperatura sería polar.

Naturalmente, las zonas polares están expuestas a la luz del Sol durante períodos más largos de 47 días, pero es un sol bajo en el horizonte.

En una Tierra que girase lentamente las regiones tropicales estarían sujetas a un sol tropical durante 47 días... muy diferente.

Es seguro que las temperaturas extremas harían de la Tierra un lugar inhabitable para la mayor parte de las formas de vida. Por lo menos, sería inhabitable en la superficie, aunque podemos imaginar que los seres humanos se establezcan en civilizaciones subterráneas según he mencionado anteriormente.

A pesar de todo, no es necesario que nos preocupemos de la rotación de pesas del sistema Tierra-Luna, porque, por extraño que parezca, nunca sucederá.

Si el día terrestre está ganando un segundo de duración cada 62 500 años, en los siete mil millones de años durante los cuales el Sol permanecerá en la secuencia principal, el día ganaría unas 31 horas y tendría una duración de 2,3 del día actual. Sin embargo, durante ese intervalo la Luna estará retrocediendo y sus efectos de atracción disminuirán de modo que sería correcto decir que al final del período de siete mil millones de años, el día de la Tierra tendría una duración aproximada del doble de su duración actual.

No tendría posibilidades de prolongarse, ni tan sólo la posibilidad de alargarlo de modo que girara con la Luna al estilo de las pesas, y mucho menos, naturalmente, comenzar juntas una espiral que desarrollara esos gloriosos anillos. Mucho antes de que todo eso pueda suceder, el Sol se habrá dilatado y convertido en gigante rojo, destruyendo al mismo tiempo a la Tierra y a la Luna.

Por lo tanto, resulta que la Tierra continuará siendo habitable, en cuanto se refiere a su período de rotación, durante toda su existencia, aunque con un día de doble duración las temperaturas extremas durante el día y la noche pueden ser mucho más elevadas de lo que ahora son y bastante incómodas.

Sin embargo, en esa época la Humanidad ya habrá abandonado seguramente el planeta (suponiendo que la Humanidad sobreviva esos miles de millones de años) y habrá sido la dilatación del Sol, y no el retraso en la rotación, lo que la habrá ahuyentado.

Capítulo IX

EL DESPLAZAMIENTO DE LA CORTEZA

Calor interno

Puesto que no parece que los voluminosos cuerpos celestes (incluyendo la Luna), amenacen seriamente a la Tierra mientras el Sol permanezca en la secuencia principal, olvidemos de momento (1) el resto del universo y concentrémonos en el planeta Tierra.

¿Podría ocurrir alguna catástrofe que implicara a la Tierra sin que interviniera ningún otro cuerpo? Por ejemplo, ¿podría el planeta estallar momentáneamente sin previo aviso? ¿Podría partirse en dos? O ¿podría ser amenazada su integridad tan drásticamente desde todos los aspectos como para llegar a una catástrofe de tercera clase que pusiera fin a la Tierra como mundo habitable?

Después de todo, la Tierra es un cuerpo excesivamente caliente; sólo es fría su superficie.

La fuente original del calor fue la energía dinámica del movimiento de los cuerpos pequeños que se acumularon y se estrellaron juntos para formar la Tierra hace unos cinco mil millones de años. La energía dinámica se convirtió en calor suficiente para derretir el interior. Durante los miles de millones de años que han transcurrido desde entonces, el interior de la Tierra no se ha enfriado. Por una parte, las capas exteriores de roca constituyen buenos aislantes del calor que conducen con extrema lentitud. Por esta razón, es muy poco el calor que relativamente se filtra de la Tierra hacia el espacio que la rodea.

Naturalmente escapa calor, pues no existe un aislante perfecto, pero, aun así, no se produce enfriamiento. En las capas exteriores de la Tierra existen ciertas variedades de átomos que son radiactivos. Cuatro de ellos revisten especial importancia: uranio-238, uranio-235, torio-232 y potasio-40. Estos átomos se degradan muy lentamente y en el curso de los miles de millones de años de existencia de la Tierra algunas de estas variedades existen intactas todavía. Hay que decir que la mayor parte del uranio-235 y el potasio-40 ya han desaparecido en la actualidad; no así el uranio-238, del que queda una mitad y una quinta parte tan sólo del torio-232.

La energía del desgaste se convierte en calor, y aunque la cantidad de calor producida por el desgaste de un solo átomo es insignificante, el calor total producido por grandes proporciones de átomos destruidos iguala la cantidad de calor perdida en el interior de la Tierra. Por tanto, la Tierra está, en todo caso, ganando calor antes que perdiéndolo.

Por consiguiente, es posible que el voraz calor interno (algunos estiman que la temperatura llega a los 2.700° en el centro) produzca una fuerza expansiva que surja a través de la fría superficie como una enorme bomba planetaria, dejando tan sólo un cinturón de asteroides en donde en otros tiempos existió la Tierra.

De hecho, lo que convierte esta posibilidad en plausible, es el hecho de que ya *existe* un cinturón de asteroides entre las órbitas de Marte y de Júpiter. ¿De dónde procede ese cinturón? En 1802, el astrónomo alemán Heinrich W. M. Olbers (1758-1840) descubrió el segundo asteroide, Palas, y en seguida consideró que los dos asteroides, Ceres y Palas, eran pequeños fragmentos de un gran planeta que en otro tiempo giró en órbita entre Marte y Júpiter y estalló después. Ahora que sabemos que hay decenas de millares de asteroides, la mayor parte de ellos no superiores a un par de kilómetros de diámetro, esta teoría nos parece mucho más plausible todavía.

Otro punto de evidencia que parece confirmar esa teoría radica en los meteoritos que han aterrizado en nuestro planeta (y que se supone desprendidos del cinturón asteroidal); un 90 % es roca y el 10 % níquel-hierro. Esto parece confirmar que son fragmentos de un planeta con el centro de níquel-hierro y una envoltura de roca a su alrededor.

La Tierra posee esa composición con el centro que constituye un 17 % del volumen del planeta. Marte es algo menos denso que la Tierra, y, por tanto, debe poseer un centro (la parte más densa del planeta) más pequeño en proporción al resto del planeta del que posee la Tierra. Si el planeta que estalló fuese semejante a Marte, se justificaría la proporción de los meteoritos en níquel-hierro y piedra.

Queda incluso un 2 % de meteoritos de roca que son «condritas carbonosas» y contienen cantidades importantes de los elementos ligeros incluso agua y compuestos orgánicos. El origen de estos meteoritos podría ser la corteza exterior del planeta estallado.

Sin embargo a pesar de la lógica de esa teoría respecto al origen explosivo de los asteroides, los astrónomos no la han aceptado. La mejor valuación que tenemos de la masa total de los asteroides es que representan 1/10 parte de la masa de la Luna. Si todos los asteroides constituyen un único cuerpo, éste alcanzaría un diámetro de unos 1.600 kilómetros (1.000 millas). Cuanto más pequeño el cuerpo, tanto menor es el calor, y menores los motivos que provoquen una explosión. No parece lógico que explote un cuerpo del tamaño de un satélite normal.

Parece mucho más lógico suponer que, a medida que Júpiter crecía, se mostró tan eficiente arrastrando hacia sí la masa adicional de sus proximidades (gracias a su ya enorme masa), que dejó muy poco en lo que ahora es el cinturón de asteroides para poder acumularse y formar un planeta. Ciertamente, dejó tan poco que Marte no pudo aumentar hasta el tamaño logrado por la Tierra y Venus. Simplemente, no había suficiente materia.

Por consiguiente, pudo suceder que la materia asteroidal tuviese una masa demasiado pequeña y generase un campo gravitacional total demasiado reducido para reunirse y formar un solo planeta, especialmente teniendo en cuenta que los efectos de atracción del campo gravitacional de Júpiter actuaban en contra de ello. En su lugar, pudieron haberse formado algunos asteroides de tamaño mediano y los choques entre ellos haber dado como resultado una enorme pulverización de cuerpos más pequeños.

En resumen, ahora se ha llegado a un acuerdo general de que los asteroides no son el producto de un planeta que estalló, sino el material de una planeta que nunca llegó a formarse.

Si no hubo explosión de un planeta, en el espacio comprendido entre Marte y Júpiter, tenemos menos motivos para creer que cualquier otro planeta vaya a explotar. Además, no hemos de subestimar el poder de la gravedad. El campo gravitacional de un cuerpo del tamaño de la Tierra es dominante. La influencia expansiva del calor interno es mucho más que suficiente para vencer la presión gravitacional hacia el interior.

Cabría pensar si la desintegración de átomos radiactivos en el cuerpo de la Tierra no podría elevar la temperatura hasta alcanzar un punto peligroso. En cuanto pueda referirse a la explosión, ese temor no es razonable. Si la temperatura se elevara lo suficiente para poder derretir toda la Tierra, la atmósfera y el océano actuales podrían perderse, pero el resto del planeta seguiría girando como una enorme gota de líquido que la gravedad mantendría segura sobre sí misma. (El planeta gigante, Júpiter, se cree ahora justamente que es una gota de líquido a semejanza de la mencionada, con temperaturas en su centro tan elevadas como 54.000° C, aunque, hay que decir, el campo gravitacional de Júpiter es trescientas dieciocho veces tan intenso como el de la Tierra.)

Naturalmente, si la Tierra se calentara lo bastante para derretir todo el planeta, incluida la corteza, eso sería una auténtica catástrofe de tercera clase. Ya no tendríamos por qué esperar una explosión.

No obstante, esto no es probable que suceda. La radiactividad natural de la Tierra está en continuo descenso. Ahora, en conjunto, es menos de la mitad de lo que lo fue al principio de la historia planetaria. Si la Tierra no se ha derretido ya durante sus primeros miles de millones de años de vida, no irá a hacerlo ahora. E incluso, aunque la temperatura de la Tierra haya estado elevándose durante toda su vida en una proporción constantemente decreciente, y no ha conseguido todavía fundir la corteza, pero ése es el objetivo hacia el que se encamina, la temperatura se elevará con tanta lentitud que proporcionará a la Humanidad el tiempo

suficiente para escapar del planeta.

Es mucho más probable que el calor interno de la Tierra esté, en el mejor de los casos, manteniéndose, y que cuando la radiactividad del planeta siga disminuyendo comience a registrarse una pérdida de calor muy lenta. En ese caso podríamos predecir un futuro muy lejano en el que la Tierra cada vez será más fría.

¿Afectará esto de algún modo a la vida que pueda ser considerado catastrófico? En lo que se refiere a la temperatura de la superficie de la Tierra, seguramente no. Casi todo el calor de nuestra superficie proviene del Sol. Si el Sol dejara de brillar, la temperatura de la superficie terrestre descendería a niveles más bajos de los polares y el calor interno del planeta produciría un efecto moderador insignificante. Si el calor interno de la Tierra descendiera a cero, por otro lado, y el Sol siguiera brillando, nosotros nunca notaríamos la diferencia en cuanto a la superficie de la Tierra se refiere. Sin embargo, el calor interno de nuestro planeta refuerza ciertos acontecimientos familiares a los seres humanos. ¿Constituiría una catástrofe su pérdida, aunque el Sol siguiera brillando?

Ésta no es una cuestión que deba preocuparnos porque nunca surgirá. El descenso de radiactividad y la pérdida de calor tendrían lugar con tanto lentitud, que es seguro que la Tierra continuará siendo un cuerpo con calor interno, como hoy día, en el momento en que el Sol abandone la secuencia principal.

Catastrofismo

Pasemos ahora a aquellas catástrofes de tercera clase que, aun sin comprometer la integridad de la Tierra como un conjunto, la convertirían, no obstante, en inhabitable.

Los temas míticos con frecuencia hablan de desastres mundiales que ponen fin a toda, o casi toda, la vida. Es posible que esos mitos tuvieran su origen en desastres menores que el recuerdo exageró y la leyenda lo hizo más todavía.

Por ejemplo, las civilizaciones más antiguas se establecieron en los valles, a orilla de los ríos, y tales lugares están sujetos ocasionalmente a inundaciones desastrosas. Una inundación especialmente calamitosa que barriera toda la zona conocida por los habitantes de aquel lugar (y los habitantes de las civilizaciones antiguas tenían una apreciación muy limitada de la extensión de la Tierra) sería para ellos una destrucción de características mundiales.

Los antiguos sumerios, que habitaron el valle del Tigris-Éufrates, en lo que ahora es Irak, parecen haber sufrido una inundación especialmente desastrosa alrededor del año 2800 a. de JC. La impresión que produjo y el impacto que causó en su mundo fueron suficientes para que en lo sucesivo marcara un hito en los hechos que fueron «antes del Diluvio» y «después del Diluvio».

Con el tiempo se creó la leyenda sumeria del Diluvio, leyenda que está incluida en la primera epopeya conocida del mundo, la historia de Gilgamesh, rey de la ciudad sumeria Uruk. En sus aventuras, Gilgamesh se encuentra con Ut-Napishtim, cuya familia era la única que había sobrevivido el Diluvio, en una gran nave que él había construido.

La epopeya alcanzó popularidad y rebasó los límites de la cultura sumeria y de las que la siguieron en el valle del Tigris-Éufrates. Llegó hasta los hebreos, y probablemente los griegos, y ambos añadieron una historia del Diluvio en sus mitos sobre la génesis de la Tierra. La versión que conocemos más en Occidente, es, naturalmente, la historia bíblica relatada en los capítulos 6 hasta el 9 del Libro del Génesis. La historia de Noé y su arca es sobradamente conocida y no merece la pena contarla de nuevo aquí.

En el transcurso de muchos siglos, los acontecimientos de la Biblia fueron aceptados por casi todos los judíos y los cristianos como la palabra inspirada de Dios, y, por consiguiente, como la verdad íntegra. Se aceptaba confiadamente que, en alguna época durante el tercer milenio antes de Jesucristo, se produjo con certeza una inundación que

destruyó virtualmente toda la vida de la Tierra.

Esto predispuso a los científicos a suponer que los diversos signos de los cambios observados en la superficie de la Tierra eran el resultado del violento cataclismo del Diluvio planetario. Cuando el Diluvio no bastaba para justificar todos los cambios, quedaba la tentación de suponer que en intervalos periódicos habían ocurrido otras catástrofes. Esta creencia es conocida como «catastrofismo».

La interpretación adecuada de los restos fósiles de especies extinguidas y la deducción del proceso de evolución se demoró por la suposición de catastrofismo. Por ejemplo, el naturalista suizo Charles Bonnet (1720-1793) sostenía que los fósiles eran en verdad residuos de especies extinguidas que en otras épocas vivieron, pero creía que habían muerto en alguna de las catástrofes planetarias que periódicamente había sufrido el mundo. El Diluvio de Noé se consideraba haber sido la última de ellas. Después de cada catástrofe, las semillas y otros residuos de la vida precatastrófica se desarrollaban en formas nuevas y más elevadas. Era como si la Tierra fuese un encerado en el que se escribiese y borrase constantemente.

El concepto fue adoptado por el anatomista francés barón Georges Cuvier (1769-1832), quien decidió que cuatro catástrofes, la última de ellas el Diluvio, explicarían la existencia de fósiles. Sin embargo, a medida que iban descubriéndose fósiles, se hizo necesario aumentar el número de catástrofes para que unas dejaran paso a otras. En 1849, un discípulo de Cuvier, Alcide d'Orbigny (1802-1857), concluyó que se requería una cifra de catástrofes no inferior a veintisiete.

D'Orbigny fue el último respiro del catastrofismo en el cuerpo principal de la ciencia. Finalmente, a medida que se iban descubriendo más fósiles y la historia de la vida pasada iba surgiendo con mayor detalle, se hizo evidente que no existían las catástrofes del tipo Bonnet-Cuvier.

En la historia de la Tierra y de la vida han ocurrido desastres que las han afectado dramáticamente, según veremos, pero no ha tenido lugar ninguna catástrofe capaz de poner fin a toda la vida forzándola a comenzar de nuevo. Aunque se haya trazado una línea y se haya dicho: «Aquí hay una catástrofe», siempre han quedado gran número de especies que sobrevivieron aquel período sin cambios y sin quedar afectados en manera alguna.

Sin la menor duda, la vida no se interrumpe, y en ningún momento, desde que comenzó a existir hace más de tres mil millones de años, ha perdurado una señal evidente de interrupción absoluta. En cada momento de todo ese período, la Tierra parece haber estado ocupada por seres vivientes en abundancia.

En 1859, tan sólo diez años después de la sugerencia D'Orbigny, el naturalista inglés Charles Robert Darwin (1809-1882) publicó su libro *El origen de las especies.* Esto proporcionó lo que normalmente se ha conocido como la «teoría de la evolución», y se refería al cambio lento de las especies a través de los eones, *sin* catástrofes ni regeneración. Encontró una gran oposición por parte de aquellos que se escandalizaron por su manera de contradecir las manifestaciones del Génesis, pero, al final, la teoría de Darwin se impuso.

Todavía hoy día, muchas personas aferradas a una interpretación literal de la Biblia, y totalmente inconsciente de la evidencia científica, siguen hostiles, por ignorancia, al concepto de la evolución. Sin embargo, no queda ninguna duda científica de que la evolución es un hecho, aunque queda mucho margen para discutir los mecanismos exactos a través de los cuales se ha desarrollado (1). A pesar de ello, la historia del Diluvio y la afición que muchas personas sienten por semejantes historias dramáticas, mantiene vivo de alguna manera, y más allá de los límites de la ciencia, el concepto de catastrofismo.

Por ejemplo, la atracción constante que inspiran las sugerencias de Immanuel Velikovsky, se debe, por lo menos en parte, al catastrofismo que predica. Hay algo dramático y excitante en la visión de Venus lanzándose contra nosotros y deteniendo la rotación de la Tierra. El hecho de que esto desafíe todas las leyes de la mecánica celeste no basta para desanimar a la persona a quien tales historias dejan fascinado.

Velikovsky expuso originalmente sus conceptos para explicar la leyenda bíblica de

Josué al detener la marcha del Sol y de la Luna. Velikovsky está dispuesto a admitir que es la Tierra la que realmente gira, de modo que sugiere que la rotación quede detenida. Si la rotación se detuviera repentinamente, como daría a entender la historia bíblica, todo lo que hay encima de la Tierra saldría disparado.

Incluso si la rotación se detuviera gradualmente, en un período de un día más o menos, según ahora insisten los defensores de Velikovsky, para justificar el que todo continuara en su sitio, la energía rotacional de todos modos se convertiría en calor y los océanos de la Tierra hervirían. Si los océanos de la Tierra llegaron a hervir en la época del Éxodo, es difícil entender cómo la Tierra posee actualmente una vida marina tan rica.

Incluso, si ignoramos la ebullición, ¿cuáles serían las posibilidades de que después de que la Tierra hubiese detenido su rotación, Venus la afectara de tal modo que la hiciera reemprender esa rotación en la misma dirección, y en el mismo período, al segundo, que había existido con anterioridad?

Muchos astrónomos están totalmente desconcertados y defraudados por la fe que muchas personas muestran en esas teorías absurdas, pero subestiman la atracción del catastrofismo. También subestiman la falta de conocimientos de la mayoría de las personas respecto a temas científicos en especial entre aquellas personas que han sido educadas concienzudamente en otras especialidades no científicas. En efecto, las personas educadas no científicas son captadas con más facilidad en esa seudociencia que las otras, porque el simple hecho de unos conocimientos en, por ejemplo, literatura comparada puede proporcionar a una persona la opinión falsamente vana del propio poder de comprensión en otros campos.

Hay otros ejemplos de catastrofismo que atraen a las gentes sencillas. Por ejemplo, cualquier teoría respecto a que de vez en cuando la Tierra sufre una sacudida, de modo que lo que antes era ártico se vuelve templado o tropical, y viceversa, encuentra en seguida oyentes bien dispuestos. De esta manera se puede justificar que algunos mamuts siberianos parecen haberse congelado tan súbitamente. Suponer que los mamuts hicieron algo tan sencillo como caer en una grieta helada o una ciénaga congelada es insuficiente. Además, aunque la Tierra sufriera una sacudida, una zona tropical no se congelaría instantáneamente. La pérdida de calor requiere tiempo. Si el horno de una casa se apaga de repente, en un día crudo de invierno, queda un intervalo de tiempo perceptible antes de que la temperatura dentro de la casa descienda al punto de congelación.

Además, es totalmente improbable que la Tierra sufra una sacudida. Existe una curvatura ecuatorial como resultado de la rotación de la Tierra y esto hace que el planeta se mueva como un giróscopo gigante. Las leyes mecánicas que gobiernan el movimiento de un giróscopo son perfectamente comprendidas, y la cantidad de energía requerida para que la Tierra sufra una sacudida es enorme. No existe ninguna fuente para esta energía, exceptuando la intrusión de un objeto planetario desde el exterior, y de esta posibilidad, a pesar de Velikovsky, no ha habido señal alguna en los últimos cuatro mil millones de años, ni hay probabilidades de que ocurra en un futuro previsible.

Se ha sugerido como recurso que no es la Tierra como un todo la que sufre sacudidas, sino únicamente la corteza de la Tierra. La corteza, con un espesor de unas pocas docenas de kilómetros, y únicamente un 0,3 % de la masa de la Tierra descansa sobre el manto de la Tierra, una gruesa capa de roca que, aunque no tiene suficiente calor para ser fundida, esta, sin embargo, muy caliente y, por consiguiente, posee cierta blandura. Quizá, de vez en cuando, la corteza se desplaza por encima de la superficie superior del manto, produciendo todos los efectos, en cuanto se refiere a la vida de la superficie, de una sacudida completa, con mucho menos desgaste de energía. (Esto fue sugerido, en 1886, por primera vez, por un escritor alemán, Carl Löffelholz von Colberg.)

¿Cuál podría ser la causa de este deslizamiento de la corteza? Una teoría sugiere que el vasto casquete de hielo sobre la Antártida no está perfectamente centrado en el Polo Sur. Como resultado de ello, la rotación de la Tierra establecería una vibración desviada del centro que posiblemente sacudiría y soltaría la corteza que se desplazaría.

Esto es muy improbable. El manto no es lo bastante blando para que la corteza pueda deslizarse por encima de él. Y suponiendo que lo fuese, la curvatura ecuatorial la mantendría de todos modos en su sitio. Y, en cualquiera de los casos, la posición desviada del centro del casquete de hielo de la Antártida no basta para producir aquel efecto.

Además, esto no ha sucedido nunca. La corteza que se desplazara se agrietaría al pasar de las zonas polares a las ecuatorianas y se hundiría al pasar de las zonas ecuatoriales a las polares. El agrietamiento y el hundimiento de la corteza, en el caso de un desplazamiento semejante, seguro que dejaría muchas señales, aunque probablemente destruiría toda la vida y no quedaría nadie para observar esas señales.

En realidad, podemos generalizar. No ha habido ninguna catástrofe que involucrara a nuestro planeta en los últimos cuatro mil millones de años, lo bastante drástica para interferir con el desarrollo de la vida, y las probabilidades de que haya alguna en el futuro, basada únicamente en la función propia del planeta, son altamente escasas.

Continentes en movimiento

Habiendo llegado a la conclusión de la «ausencia de catástrofes», ¿podemos estar convencidos de que la Tierra es perfectamente estable e inmutable? Creemos que no. Hay cambios, y algunos de ellos son incluso del tipo que he desechado. ¿Cómo es posible?

Consideremos la naturaleza de la catástrofe. Algo que puede resultar catastrófico al ocurrir rápidamente, puede no serlo si sucede con lentitud. Si alguien tuviera que bajar de la cima de un rascacielos rápidamente, saltando por el tejado, este hecho sería una catástrofe personal. Pero, si por otro lado, bajase muy lentamente en el ascensor, eso no constituiría ningún problema. Y lo mismo hubiera sucedido en ambos casos: un cambio de posición de arriba abajo. El que ese cambio de posición fuese catastrófico o no dependía, por entero, de la velocidad del cambio.

Del mismo modo la bala veloz que sale del cañón de una pistola y le acierta en la cabeza, seguramente le matará; pero esa misma bala, únicamente con la velocidad impulsada por el brazo de la persona que la arroja, tan sólo le producirá un dolor de cabeza.

Por tanto, lo que he eliminado como catástrofes inadmisibles son tan sólo cambios que suceden *rápidamente.* Esos mismos cambios, si ocurren *muy despacio,* son cuestión aparte. Los cambios lentos pueden tener lugar, y ocurren en verdad, pero no han de ser, y de hecho, no son catastróficos.

Por ejemplo, tras haber eliminado la posibilidad de un desplazamiento catastrófico de la corteza, hemos de admitir que existe la posibilidad de un desplazamiento muy lento de la corteza terrestre. Consideremos que hace unos seiscientos millones de años hubo, al parecer, un período glacial (a juzgar por las erosiones en las rocas de edad conocida) que se produjo simultáneamente en el Brasil ecuatorial, en Sudáfrica, en la India y en el Oeste y Sudeste de Australia. Esas zonas estuvieron cubiertas de hielo como lo están ahora Groenlandia y la Antártida.

¿Cómo pudo ocurrir eso? Si la distribución terrestre del mar y la tierra eran exactamente iguales entonces que ahora, y si los polos se hallaban precisamente en el mismo lugar, tener zonas tropicales bajo hielo significaría que toda la Tierra tenía que estar helada, cosa muy improbable. Después de todo, en las otras zonas continentales de la época no quedan señales glaciales.

Si suponemos que los polos han variado su posición, de modo que lo que ahora es tropical en otra época fue polar, y viceversa, en ese caso resulta imposible encontrar una situación para los polos que explique todos esos casquetes de hielo originales al mismo tiempo. Si los polos han permanecido en su lugar, pero la corteza de la Tierra se ha desplazado como un todo, el problema sigue siendo el mismo. No hay posición alguna que justifique todos los casquetes de hielo.

Lo único que puede haber sucedido que acredite este antiguo período glacial, es que las masas del suelo hubiesen cambiado de posición unas respecto de otras, y que los diversos lugares glaciales estuvieran en cierto momento cerca unos de otros y todos en un polo o en el otro (o quizá parte de ellos estaban en un polo y el resto en el otro). ¿Es posible esto?

Si observamos el mapa del mundo, no es difícil comprobar que la costa oriental de América del Sur y la costa occidental de África son sorprendentemente similares. Si se recortan ambos continentes (suponiendo que el contorno no está demasiado distorsionado por haberse dibujado en una superficie plana), veríamos que podemos encajarlos perfectamente. Esta particularidad fue observada tan pronto como la forma de estas costas fue conocida en detalle. El erudito inglés Francis Bacon (1561-1626) ya lo hizo observar en 1620. ¿Sería posible que África y América del Sur estuvieran unidas en otros tiempos, y que se partieran por la línea de sus costas actuales y después se separaron desplazándose?

La primera persona que investigó minuciosamente este concepto de la «deriva de los continentes» fue un geólogo alemán, Alfred Lothar Wegener (1880-1930), quien publicó un libro sobre el tema, *El origen de los continentes y los océanos,* en 1912.

Los continentes están formados por una roca menos densa que la del fondo del océano. Los continentes son principalmente granito; el fondo del océano, sobre todo, basalto. ¿No pudo suceder que estos bloques continentales de granito se desplazaran muy lentamente sobre el basalto del fundamento?

Eso era parecido a la teoría de la corteza que se deslizaba, pero en vez de ser toda la corteza, únicamente eran los bloques continentales los que lo hacían, y muy lentamente.

Si los bloques continentales se movían con independencia, no habría ningún problema grave con la curvatura ecuatorial, y si se movían muy lentamente, no se requería mucha energía y no podía provocar ninguna catástrofe. Además, si los bloques continentales se movían con autonomía, esto justificaría un período glacial en zonas del mundo, amplias y separadas, algunas cerca del Ecuador. Todas esas regiones hubieran estado juntas en una época, y en los polos.

Semejante desplazamiento continental daría respuesta también a un enigma biológico. Existen especies similares de plantas y animales en diversas regiones del mundo, muy apartadas unas de otras; regiones separadas por océanos que seguramente esos animales y esas plantas no hubiesen podido cruzar. En 1880, el geólogo austríaco Edward Seuss, dio respuesta *a* este enigma sugiriendo que en otros tiempos hubo istmos que unían los continentes. Por ejemplo, imaginó un gran supercontinente que se extendería alrededor de todo el hemisferio Sur, para explicar cómo esas especies alcanzaron las diversas masas de tierra que ahora están separadas por grandes distancias. En otras palabras, teníamos que imaginar el suelo elevándose y cayendo en el curso de la historia de la Tierra, convirtiendo la misma zona que en un tiempo era continente alto en profundo suelo oceánico después.

El concepto se hizo popular, pero cuanto más aprendían los geólogos sobre el fondo del mar, menos probable parecía que el fondo de los mares hubiera podido ser nunca parte de los continentes. Era más lógico suponer un movimiento de lado y un continente partiéndose en pedazos.

Cada uno de esos trozos llevaría unos determinados grupos de especies, y, finalmente, las especies similares quedarían separadas por vastos océanos.

Wegener sugirió que, en una época, todos los continentes existieron como un enorme bloque único de tierra, situado en un vasto océano. Llamó *Pangea* a este supercontinente (derivado de una palabra griega que significa «toda la Tierra»). Por alguna razón, *Pangea* se rompió en varios fragmentos que fueron a la deriva hasta terminar en la disposición continental de hoy.

El libro de Wegener despertó un enorme interés, pero a los geólogos les resultó difícil tomarlo en serio. Sencillamente las capas inferiores de los continentes de la Tierra eran demasiado rígidas para que esos continentes pudiesen ir a la deriva. América del Sur y África estaban firmemente asentadas y ninguno de los dos continentes podía haberse desplazado

cruzando el basalto. Por tanto, durante cuarenta años las teorías de Wegener fueron rechazadas.

No obstante, al profundizar más en el estudio de los continentes, la teoría de que en otras épocas todos estuvieran unidos se hacia cada vez más verosímil, en especial si se consideraba la orilla de las plataformas continentales como los auténticos límites del continente. Era demasiada evidencia para ser rechazada como una mera coincidencia.

Por consiguiente, supongamos que *Pangea* existió y que se partió y que los fragmentos de algún modo se separaron. En ese caso, el suelo de los océanos que se formó entre los fragmentos hubiera debido de ser relativamente joven. Algunos fósiles de rocas de los continentes llegaban hasta los seiscientos millones de años de antigüedad, pero los fósiles del fondo del océano Atlántico, que sólo podían haberse formado después que *Pangea* se partió, no podían ser tan viejos. De hecho, en el fondo del océano Atlántico no se han encontrado nunca fósiles de roca con una edad superior a los ciento treinta y cinco millones de años.

La evidencia en favor de la deriva continental fue acumulándose cada vez más. Sin embargo, se necesitaba una explicación en cuanto al mecanismo que hizo posible ese desplazamiento. Tenía que ser algo diferente a la sugerencia de Wegener, del granito surcando el basalto; evidentemente, *eso no* era posible.

La clave se presentó al estudiar el fondo del océano Atlántico que naturalmente está oculto bajo un espesor de agua de varios miles de metros de profundidad. La primera sospecha de que allí podía haber algo interesante surgió en 1853 cuando se llevaron a cabo los sondeos necesarios para poder colocar un cable submarino a través del Atlántico, que uniera Europa y América para «la comunicación». En aquel momento se informó de que parecía haber señales de una meseta submarina en medio del océano. El océano Atlántico parecía definitivamente menos profundo en el medio que en los lados, y esa elevación central fue llamada «Meseta del Telégrafo» en honor del cable.

En aquellos tiempos, el sondeo se realizaba lanzando por la borda un cable largo y pesado. Esto era aburrido, difícil e incierto, y eran pocos los sondeos que podían hacerse, de modo que sólo se conocían los detalles más generalizados de la configuración del fondo del mar.

Sin embargo, durante la Primera Guerra Mundial, el físico francés Paul Langevin (1872-1946) ideó métodos para conocer las distancias de los objetos dentro del agua (ahora llamado «sonar») por medio de ecos ultrasónicos. En la década de los veinte, un navío oceanográfico alemán comenzó a realizar sondeos en el océano Atlántico utilizando el sonar, y en 1925, quedó demostrado que existía una cordillera submarina en el océano Atlántico, que lo cruzaba en toda su longitud. Con el tiempo se descubrió que también en otros océanos existían configuraciones semejantes que realmente rodeaban el Globo en una «cadena de cordilleras en medio del océano», larga y sinuosa.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los geólogos americanos, William Maurice Ewing (1906-1974) y Bruce Charles Heezen (1924-1977), se dedicaron a esta cuestión, y en 1953 pudieron demostrar que a todo lo largo de la cordillera, en la parte inferior de su prolongado eje, había una profunda hondonada. Poco a poco se descubrió que existía en todos los puntos de la *Mid-Oceanic Ridge* (1) que algunas veces ha sido denominada *Great Global Rift* (2).

El *Great Global Rift* parece dividir la corteza de la Tierra en grandes plataformas, que en algunos casos alcanzan miles de kilómetros y con una profundidad que parece oscilar de los 70 a los 150 kilómetros (de 45 a 95 millas). Son llamadas plataformas o estratos tectónicos, por el hecho de que las diversas estructuras aparecen limpiamente unidas. El estudio de la evolución de la corteza de la Tierra partiendo de estas plataformas se conoce como tectónica (3).

El descubrimiento de las plataformas tectónicas afirmó el desplazamiento continental, pero no según la teoría de Wegener. Los continentes no flotaban desplazándose sobre el basalto. Un continente determinado, junto con las porciones del suelo del mar adyacente, era

parte integral de una plataforma determinada, Los continentes sólo podían moverse si lo hacían las plataformas, y era evidente que éstas se movían. ¿Cómo podía suceder eso si estaban sólidamente unidas?

Una presión de empuje podía separarlas. En 1960, el geólogo americano Harry Hammond Hess (1906-1969) presentó pruebas de la «dilatación del suelo marino». La roca caliente en fusión se elevaba lentamente desde las grandes profundidades hasta el *Great Global Rift* en medio del Atlántico, por ejemplo, y se solidificaba en, o cerca de, la superficie. Este abombamiento de la roca solidificándose forzaba y separaba las dos plataformas de ambos lados, en algunos lugares en una proporción de 2 a 18 centímetros (de 1 a 7 pulgadas) por año. AI separarse las plataformas, América del Sur y África, por ejemplo, se separaban forzosamente. En otras palabras, los continentes no derivaban, sino que eran empujados.

¿De dónde procedía la energía causante de este movimiento? Los científicos no están seguros. Una explicación lógica sería que existen remolinos lentos en el manto debajo de la corteza, un manto con calor suficiente para ser dúctil bajo sus grandes presiones. Si un remolino asciende, también, hacia el este y abajo, los movimientos opuestos debajo de la corteza fuerzan la separación de dos plataformas contiguas entre las que se filtra, haciendo ascender el material caliente.

Naturalmente, si dos plataformas son empujadas, los extremos de esas plataformas presionan y se introducen en otras plataformas próximas. Cuando dos plataformas se presionan lentamente, se produce fractura y se forman cordilleras de montañas. Si la presión es más rápida, una plataforma se desliza por debajo de otra, pasa a zonas más calientes y se funde. El fondo del océano sufre la presión desde abajo y forma «profundidades». Toda la historia de la Tierra puede ser revelada a través de la tectónica, estudio que se ha convertido, de repente, en el fundamento de la Geología, del mismo modo que la evolución es la base primordial de la Biología, y el atomismo, el dogma central de la Química. Con la separación de las plataformas tectónicas, por un lado, y su unión, por otro, se alzan montañas, se abren profundidades, se ensanchan océanos y los continentes se separan y se reúnen.

De vez en cuando, los continentes se unen formando una enorme masa de tierra, para separarse después, una y otra vez. La última vez que *Pangea* parece haber sido formada fue hace doscientos veinticinco millones de años, justamente cuando los dinosaurios comenzaban a desarrollarse; e inició su fractura hace aproximadamente unos ciento ochenta millones de años.

Volcanes

El movimiento de las plataformas tectónicas no parece constituir un fenómeno catastrófico debido a su lentitud. A través de los tiempos históricos, la elevación de los continentes no hubiera sido perceptible de no haberse empleado mediciones rigurosamente científicas. Sin embargo, el movimiento de las plataformas produce otros efectos ocasionales además de los cambios en los mapas, efectos que son repentinos y localmente desastrosos.

Las líneas en las que se encuentran las plataformas representan el equivalente en las fracturas de la corteza terrestre, y se llaman «fallas». Estas fallas no son simples líneas quebradas, sino que presentan ramas y derivaciones. Las fallas con puntos débiles a través de los cuales el calor y las capas de roca en fusión situadas muy por debajo de la corteza pueden abrirse paso hacia el exterior. El calor puede manifestarse de manera apacible calentando el agua subterránea y produciendo escapes de vapor o fuentes de agua caliente. Algunas veces, el agua se calienta hasta alcanzar un punto crítico provocando la salida de un surtidor que se eleva alto en el aire. La situación se tranquiliza entonces mientras el depósito subterráneo se aprovisiona de nuevo y se calienta para la próxima erupción. Esto se llama geiser.

En algunas zonas, el efecto del calor es más enérgico. La roca líquida surge a través de la corteza de roca solidificada, acumulándose v formando un cono. Con el tiempo, se alza una

montaña con una abertura central a través de la cual la roca licuada, o «lava», puede ascender y depositarse; luego suele solidificarse durante períodos más o menos largos, y fundirse de nuevo.

Esto es un «volcán», que puede ser activo o inactivo. Algunas veces, un volcán determinado se muestra más o menos activo durante largos períodos de tiempo, y, como sucede con una enfermedad crónica, durante esos períodos no resulta muy peligroso. En ocasiones, cuando por alguna razón los acontecimientos subterráneos incrementan el nivel de actividad, la lava asciende y rebosa de las paredes del volcán. Los ríos de lava al rojo vivo se deslizan espesos por las laderas del volcán, amenazando algunas veces las poblaciones cercanas, que han de ser evacuadas.

Los volcanes que durante ciertos lapsos de tiempo permanecen inactivos son mucho más peligrosos. El punto central a través del cual fluía la lava se solidifica por completo. Si la actividad interior hubiera cesado totalmente, y para siempre, todo estaría resuelto. Pero algunas veces las condiciones subterráneas comienzan a producir un exceso de calor después de transcurrido un cierto lapso de tiempo. La lava que se forma debajo de la abertura queda apresada por la lava solidificada que le impide el paso. La presión aumenta hasta tal punto que llega a hacer estallar la cima del volcán. Se produce entonces una erupción muy violenta, y lo que es peor, más o menos inesperada, de gases vapores, rocas sólidas y lava ardiente. De hecho, si el agua ha quedado atrapada bajo el volcán y se ha convertido en vapor bajo la enorme presión, toda la cima del volcán puede estallar produciendo una explosión mucho mayor que cualquiera que los seres humanos hayan conseguido provocar, incluso en estos días de las bombas de hidrógeno.

Peor aún, un volcán inactivo da la impresión de ser totalmente inofensivo. Puede no haber dado ninguna señal de actividad que los seres humanos recuerden, y el suelo, relativamente fresco extraído de las profundidades, suele ser muy fértil. Por consiguiente, invita al establecimiento de poblaciones humanas y cuando llega la erupción (si se presenta) los resultados pueden ser mucho más desastrosos.

Existen en el mundo 455 volcanes activos conocidos con erupciones hacia la atmósfera. Quizás existen 80 más submarinos. Un 62 % de los volcanes activos están situados en las orillas del océano Pacífico, unas tres cuartas partes en las costas occidentales del océano a lo largo del cinturón de islas que bordean la costa asiática del Pacífico.

Algunas veces esta zona ha sido llamada «el Cinturón de Fuego» y se ha sugerido que se trata de la cicatriz todavía fresca de la Tierra que marca el punto que en los orígenes se quebró para formar la Luna. Los científicos ya no aceptan esta teoría como una posibilidad razonable y el Cinturón de Fuego señala, simplemente, el límite de la plataforma del Pacífico con las otras plataformas, este y oeste. Otro 17 % de los volcanes ocurre en el brazo de isla de Indonesia que marca el límite entre la plataforma euroasiática y la plataforma australiana. Otro 7 % se halla a lo largo de la línea este-oeste que cruza el Mediterráneo, marcando el límite entre la plataforma euroasiática y la plataforma africana.

La erupción volcánica más conocida de la historia de Occidente fue la del Vesubio en el año 79 d. de JC. El Vesubio es un volcán con una altura aproximada de 1,28 kilómetros (0,8 millas) situado a unos 15 kilómetros (10 millas) al este de Nápoles. En los tiempos antiguos no se sabía que era un volcán por haber permanecido inactivo durante todo el tiempo recordado por los seres humanos. De pronto, el 24 de agosto del año 79 d. de JC estalló. El río de lava y las nubes de humo, vapores y gases nocivos destruyeron totalmente las ciudades de Pompeya y Herculano, situadas en las laderas del sur. Este incidente, por haber sucedido durante el apogeo del Imperio Romano, haber sido descrito dramáticamente por Plinio *el Joven* (cuyo tío, Punió *el Viejo* murió a causa de la erupción cuando intentaba contemplar más de cerca el desastre), y porque las excavaciones de las ciudades enterradas, que se iniciaron en 1709, revelaron una comunidad romana suburbana cuyas actividades cotidianas quedaron como en suspenso, interrumpidas de repente, se ha convertido en el *epítome* de las erupciones volcánicas. Sin embargo, fue un hecho de poca importancia en cuanto concierne a destrucción.

Por ejemplo, Islandia es especialmente volcánica por su situación en el *Mid-Oceanic Ridge,* precisamente entre los límites de la plataforma norteamericana y la plataforma euroasiática. Y, en efecto, está en régimen de separación a medida que el suelo del océano Atlántico sigue espaciándose (1).

En 1783, el volcán Laki, en el centro de la zona meridional de Islandia, a 190 kilómetros (120 millas) al este de Rejkiavick, la capital islandesa, inició su erupción. Durante un período de dos años, la lava cubrió una zona de 580 kilómetros cuadrados (220 millas cuadradas). El daño directo causado por la lava fue menor, pero las cenizas volcánicas se esparcieron ampliamente y hasta muy lejos, llegando hasta Escocia, 800 kilómetros (500 millas) al sudeste, en cantidades suficientes para arruinar las cosechas de aquel año.

Dentro de Islandia, la ceniza y los humos mataron las tres cuartas partes de todos los animales domésticos y convirtieron en estéril, por lo menos temporalmente, la poca tierra de labor de la isla. Como resultado de ello, una quinta parte de la población de la isla, 10.000 personas, murieron de hambre o de enfermedad.

Las consecuencias pueden ser mucho peores en centros de población más densa. Examinemos el volcán Tambora, en la isla indonésica Sumbawa, situada al este de Java. En 1815, Tambora tenía una altura de 4 kilómetros (2,5 millas). El día 7 de abril del mismo año, sin embargo, la lava consiguió filtrarse e hizo estallar el último kilómetro del volcán. En esa erupción se descargaron quizá 150 kilómetros cúbicos (36,5 millas cúbicas) de materia, el mayor volumen conocido de materia arrojada a la atmósfera de los tiempos modernos (2). La lluvia directa de rocas y cenizas mató a 12.000 personas y la destrucción de los cultivos y los animales domésticos provocó la muerte por hambre de 80.000 personas más en Sumbawa y Lombok, una isla próxima.

En el hemisferio occidental, la erupción más horrible de los tiempos históricos se produjo el 8 de mayo de 1902. El Monte Pelee, en el extremo noroeste de la Martinica, isla del Caribe, había estado emitiendo ruidos subterráneos anteriormente, pero ese día estalló en una gigantesca explosión. Un río de lava y una nube de gas ardiente se deslizaron a gran velocidad por las pendientes del volcán, cubriendo la ciudad de St. Pierre y destruyendo su población. Murieron unas 38.000 personas. (Un hombre de la ciudad, encarcelado en una prisión subterránea, sobrevivió.)

Sin embargo, la mayor explosión de los tiempos modernos se produjo en la isla de Krakatoa. No se trataba de una isla grande, con una área de 45 kilómetros cuadrados (18 millas cuadradas), algo menor que Manhattan. Está situada en el estrecho de la Sonda, entre Sumatra y Java, 840 kilómetros (520 millas) al oeste de Tamboro.

El Krakatoa no parecía especialmente peligroso. En 1680, había habido una erupción, pero de escasa importancia. El 20 de mayo de 1883, se registró una considerable actividad, pero cesó sin haber causado mucho daño, y continuó después emitiendo cierto rugido profundo. De pronto, a las 10 de la mañana del 27 de agosto, se produjo una tremenda explosión que destruyó virtualmente la isla. Al espacio tan sólo fueron arrojados unos 21 kilómetros cúbicos (5 millas cúbicas) de materia, mucho menos que la cifra probablemente exagerada de la erupción de Tamboro, hacía sesenta y tres años, pero la materia fue arrojada con una fuerza mucho más poderosa.

La ceniza se esparció sobre una área de 800.000 kilómetros cuadrados (300.000 millas cuadradas) y oscureció las regiones vecinas durante dos días y medio. El polvo llegó a la estratosfera y se desparramó por toda la Tierra, dando lugar a unas puestas de sol espectaculares durante un par de días. El ruido de la explosión se oyó, hasta distancias de millares de millas, sobre una parte del Globo estimado en un 1/13, y la fuerza de la explosión fue veintiséis veces la fuerza de la mayor bomba H que se haya hecho estallar jamás.

La explosión levantó un *tsunami* (variedad de maremoto) que barrió las islas vecinas y que se hizo sentir menos catastróficamente sobre todo el océano. Todas las formas de vida en Krakatoa quedaron destruidas, y el *tsunami,* al embestir los puertos en donde alcanzó alturas de hasta 36 metros (120 pies) destruyó ciento sesenta y tres pueblos y mató cerca de 40.000

personas.

La explosión del Krakatoa ha sido considerada la catástrofe más terrible que se ha conocido en los tiempos históricos, pero, según se ha sabido después, eso es un error. Existió otra mayor.

En la parte meridional del mar Egeo, está situada la isla de Thera, a unos 230 kilómetros (140 millas) al sudeste de Atenas. Tiene forma de media luna, con su parte abierta mirando al oeste. Entre los dos cuernos hay dos islas pequeñas. El conjunto parece ser el círculo de un gran cráter volcánico, y eso es precisamente. La isla de Thera es volcánica y sufre numerosas erupciones, pero excavaciones recientes han demostrado que aproximadamente en el año 1470 a. de JC la isla era mucho mayor de lo que es ahora y centro de una rama floreciente de la civilización minoica que tenía su centro en la isla de Creta, a 105 kilómetros (70 millas) al sur de Thera.

Sin embargo, aquel año Thera explotó como Krakatoa haría treinta y tres siglos más tarde, pero con una fuerza cinco veces superior. También en Thera quedó todo destruido, pero el *tsunami* que se produjo (que alcanzó alturas de 50 metros en algunos puertos) asoló Creta, causando tal destrucción que arruinó la civilización minoica (1). Tuvieron que transcurrir casi un millar de años antes de que la civilización griega elevara la cultura de esa zona hasta el nivel que había alcanzado antes de la explosión.

Indudablemente, la explosión de Thera no mató tanta gente como las de Krakatoa o Tamboro, porque la Tierra no estaba tan poblada en esas épocas. Sin embargo, la explosión de Thera tiene la triste distinción de ser la única erupción volcánica que ha destruido no solamente una ciudad o un grupo de ciudades, sino una civilización entera.

La explosión de Thera presenta otra diferencia, extremadamente romántica. Los egipcios registraron los datos de aquella explosión, quizá de una forma algo confusa (1), y un millar de años más tarde, los griegos conocieron el hecho a través de esos informes y probablemente tergiversaron todavía más la versión. Las historias se dan a conocer en dos de los *Diálogos* de Platón.

Platón (427-347 a. de JC) no trató de ser rigurosamente histórico al contarlo, puesto que utilizaba la historia para moralizar. Al parecer, no podía creer que en el mar Egeo, en donde quedaban unas pequeñas islas sin importancia, hubiera podido existir la gran ciudad de la que hablaban los egipcios. Por tanto, la situó en el lejano oeste, en el océano Atlántico, y llamó Atlántida a la ciudad destruida. Como resultado, desde aquel momento muchas personas creyeron que el océano Atlántico era el lugar de un continente hundido. El descubrimiento de la Meseta del Telégrafo parecía dar verosimilitud a la teoría, pero, naturalmente, el descubrimiento del *Mid-Oceanic Ridge* destruyó esa creencia.

Además, la sugerencia de Seuss de los puentes de tierra oceánicos y la elevación y descenso de vastas áreas de terreno, estimuló más todavía a los creyentes en un «continente perdido». No sólo se imaginó la existencia real de la Atlántida en el pasado, sino también la existencia de continentes similares hundidos en los océanos Pacífico e índico, llamados Lemuria y Mu. Seuss estaba equivocado, y, en cualquier caso, hablaba de acontecimientos ocurridos hace centenares de millones de años, mientras que los entusiastas creyeron que el fondo del océano había estado haciendo cabriolas hace tan sólo unas decenas de millares de años.

Las plataformas tectónicas han puesto punto final a toda esa cuestión. No existen continentes hundidos en ningún océano, aunque los que creen en un continente perdido, estamos seguros, continuarán insistiendo en ese absurdo.

Hasta hace poco tiempo, los científicos (entre los que me incluyo) sospechaban que el relato de Platón era por completo ficticio, con el propósito de moralizar. Estábamos equivocados. Algunas de las descripciones de Platón sobre la Atlántida, concuerdan con las excavaciones de Thera, así que la historia debe de haberse basado en la auténtica destrucción de una ciudad por una catástrofe repentina, pero tan sólo una ciudad en una isla pequeña, y no un continente.

Sin embargo, a pesar del daño que los volcanes puedan causar en las peores condiciones, queda otro efecto de las plataformas tectónicas que podrían resultar todavía más desastrosos.

Terremotos

El plegamiento o la separación de las plataformas tectónicas no siempre se lleva a cabo con suavidad. De hecho, es de esperar cierta resistencia friccional.

Imaginemos que dos plataformas se mantienen unidas bajo enormes presiones. El contorno es desigual, con una profundidad de millas, y los bordes de las plataformas son de roca áspera. El movimiento empuja una de ellas hacia el norte, por ejemplo, mientras que la otra es estacionaria o presiona hacia el sur. O es posible también que una plataforma se alce, mientras que la otra permanece estacionaria o está hundiéndose.

La enorme fricción de los bordes de las plataformas impide su movimiento, durante cierto tiempo por lo menos, pero la fuerza que impulsa el movimiento de las plataformas aumenta a medida que la circulación lenta del manto separa las plataformas en algunos lugares. El alzamiento de la roca licuada y la expansión del suelo marino ejercen un empuje continuo, repetido, que en algunos lugares presiona una plataforma contra otra. Quizá tarde años, pero esa fricción es vencida antes o después, y las plataformas se desplazan, frotándose una contra otra, solamente unos centímetros quizá (o pulgadas), o acaso algunos metros (o yardas). La presión cede entonces y las plataformas quedan asentadas para otro período incierto de tiempo hasta el siguiente movimiento.

Cuando tiene lugar el movimiento de las plataformas, la Tierra vibra y se produce un «terremoto». En el transcurso de un siglo es frecuente que dos plataformas se muevan una contra otra, a poca distancia y al mismo tiempo, y los temblores pueden ser débiles. Pero si esas plataformas se mantienen fuertemente unidas y durante un siglo no sucede nada, de repente pueden soltarse y su movimiento acumula toda la potencia que no repartió en esos cien años produciendo un gigantesco temblor. Como es normal, la misma energía liberada durante un siglo casi no produce daños, pero liberada a gran pregón en un corto período de tiempo puede dar lugar a un cataclismo.

Puesto que los terremotos o los volcanes se originan a lo largo de las fallas, las quiebras en donde las dos plataformas se encuentran, las mismas regiones en donde se hallan los volcanes suelen experimentar los terremotos. Sin embargo, de los dos fenómenos, los terremotos son los más peligrosos. Las erupciones de lava se producen en puntos determinados, en los volcanes, enormes y fácilmente reconocibles. Por lo general, el desastre suele quedar confinado en una zona pequeña y es raro que se produzcan el *tsunami* o las grandes capas de ceniza. En cambio, los terremotos pueden centrarse en cualquier lugar a lo largo de una falla que puede alcanzar una longitud de varios centenares de kilómetros.

Los volcanes suelen avisar previamente. Aun cuando la cima de un volcán estalle de repente, con anterioridad siempre hay ruidos precursores o emisión de cenizas y de humo. Por ejemplo, en el caso de Krakatoa existieron señales de actividad durante tres meses antes de la súbita explosión. En cambio, los terremotos suelen ocurrir con sólo el más sutil de los avisos.

Mientras que las erupciones volcánicas casi siempre se localizan y se desarrollan dando tiempo suficiente para que la gente pueda escapar, un terremoto suele acabar en cinco minutos y durante esos cinco minutos puede quedar afectada una gran zona. Los temblores de tierra no son peligrosos en sí mismos (aunque pueden asustar terriblemente), pero suelen derribar los edificios, de modo que la gente muere entre las ruinas. En los tiempos actuales, pueden abrir grietas en los diques y producen terribles inundaciones, destrozar cables eléctricos y provocar incendios, y resumiendo, causar muchos daños en las propiedades.

El terremoto más conocido en nuestra historia moderna occidental ocurrió el 1 de noviembre de 1755. El epicentro se hallaba justamente frente a la costa de Portugal y

seguramente fue uno de los tres o cuatro terremotos más fuertes que se han conocido. Lisboa, la capital de Portugal, recibió el mayor impacto del temblor y se derrumbaron todas las casas de la parte baja de la ciudad. El temblor bajo el agua alzó entonces un *tsunami* que barrió el puerto y completó la ruina. Murieron 60.000 personas y la ciudad se allanó como si hubiera caído en ella una bomba de hidrógeno.

El impacto fue percibido en una área superior a los tres millones y medio de kilómetros cuadrados (un millón y medio de millas cuadradas), produciendo daños importantes en Marruecos, así como en Portugal. Como era el día de Todos los Santos, la gente asistía a los cultos y todas las personas de la Europa meridional que estaban en las iglesias vieron bailar y balancearse los candelabros y las lámparas.

El terremoto más famoso de la historia de Norteamérica ocurrió en San Francisco. Esta ciudad se encuentra situada en el límite entre la plataforma del Pacífico y la plataforma de Norteamérica. El límite se extiende a todo lo largo al oeste de California y es llamado la falla de San Andrés. A todo lo largo de la falla y sus ramificaciones se producen frecuentes temblores, normalmente suaves, pero algunas veces trozos de la falla quedan apresados y cuando se liberan, transcurridas muchas décadas, los resultados son devastadores.

A las cinco horas y trece minutos del día 18 de abril de 1906, la falla cedió en San Francisco, y los edificios se derrumbaron. Se inició un incendio que se mantuvo durante tres días hasta que la lluvia lo apagó. Quedaron arrasadas cuatro millas cuadradas del centro de la ciudad. Murieron unas 700 personas y 250.000 quedaron sin hogar. Los daños materiales fueron estimados en 500 millones de dólares.

Como resultado del estudio de este terremoto por el geólogo americano Harry Fielding Reid (1859-1944), se descubrió que se había producido la dislocación de una falla. El suelo se había movido en un borde de la falla de San Andrés unos seis metros (20 pies) con respecto al otro. Esto proporcionó el actual conocimiento sobre terremotos, aunque no fue hasta cincuenta años después, con el desarrollo de los estratos tectónicos, como pudo entenderse la fuerza impulsora de los terremotos.

No hay que permitir que el terremoto de San Francisco oscurezca el hecho de que la ciudad era pequeña y de que las muertes fueron relativamente pocas. Ocurrieron terremotos mucho más importantes en el hemisferio occidental si los valoramos por las muertes que causaron.

En 1970, en Yungay, una ciudad de veraneo del Perú, 320 kilómetros (200 millas) al norte de Lima, la capital, un terremoto liberó el agua que se había acumulado tras una pared de tierra. Se produjo una inundación y murieron 70.000 personas.

Es mucho mayor el daño que se hace al otro extremo de la plataforma del Pacífico, en el Extremo Oriente, en donde la población es densa y en la que las casas son tan endebles que se derrumban al primer temblor de un terremoto fuerte. El 1° de setiembre de 1923, un gigantesco terremoto tuvo su epicentro justamente en el sudoeste del área metropolitana de Tokio-Yokohama, en el Japón. En 1923, Tokio era una ciudad mucho mayor que San Francisco en 1906; vivían cerca de dos millones de personas en la zona de Tokio-Yokohama.

El terremoto se produjo precisamente antes del mediodía, y quedaron destruidos en el acto 575.000 edificios. Las muertes producidas por el temblor y por el incendio que siguió, llegaron a rebasar la cifra de 140.000, y el valor de los daños materiales alcanzó cerca de tres mil millones de dólares (en términos del valor de los dólares en aquella época). Es posible que ése fuese el terremoto más costoso que jamás haya tenido lugar.

A pesar de ello, no fue el peor temblor desde el punto de vista de las muertes causadas. El 23 de enero de 1556, en la provincia de Shensi, en China Central, se produjo un terremoto en el que, según los informes, murieron 830.000 personas. Naturalmente, no tenemos mucha confianza en un informe tan antiguo, pero el 28 de julio de 1976, ocurrió un terremoto igualmente devastador en China, al sur de Pekín. Quedaron arrasadas las ciudades de Tientsin y Tangshan, y aunque China no dio a conocer cifras oficiales de las víctimas, los informes extraoficiales citaban 655.000 muertos y 779.000 heridos.

¿Qué podemos decir entonces sobre terremotos y volcanes en general? En efecto, son calamidades, pero de carácter estrictamente local. En los miles de millones de años desde que la vida comenzó, los volcanes y los terremotos nunca han representado la amenaza de una destrucción total de la vida. No pueden ser considerados como destructores de la civilización. Es indudable que la explosión de Thera fue un poderoso factor en el hundimiento de la civilización minoica, pero las civilizaciones eran pequeñas en aquellos tiempos. La civilización minoica estaba confinada a la isla de Creta y algunas islas del Egeo, influyendo, además, en algunas zonas de la península griega.

¿Podemos estar seguros de que las cosas continuarán así; de que las alteraciones tectónicas no serán catastróficas en el futuro, aunque no lo hayan sido en el pasado? Por ejemplo, en 1976 ocurrieron unos cincuenta terremotos que causaron muertes, y algunos de ellos, como los de Guatemala y de China, resultaron auténticos desastres. ¿Es que la Tierra estará derrumbándose actualmente por alguna razón desconocida?

¡De ninguna manera! Las cosas sólo *parecen malas, y,* de hecho, en 1906 (el año del terremoto de San Francisco) ocurrieron más temblores desastrosos que el año 1976, pero en 1906 la gente no se preocupó tanto por ellos. ¿Por qué ahora todos se preocupan más?

En primer lugar, las comunicaciones han mejorado enormemente desde la Segunda Guerra Mundial. No hace muchos años todavía, grandes zonas de Asia, África y América del Sur estaban totalmente desconectadas de nosotros. Si en alguna remota región ocurría un terremoto, la noticia llegaba a América débilmente. En la actualidad todos los terremotos se describen de inmediato y con detalles en las primeras páginas de los periódicos. Los resultados de la devastación pueden ser contemplados en la televisión.

En segundo término, nuestro interés ha aumentado. Ya no estamos aislados e inmersos en nosotros mismos. No hace mucho tiempo, aunque oyésemos detalles sobre terremotos ocurridos en otros continentes, nos encogíamos de hombros. Lo que pudiera suceder en otras partes lejanas del Globo no nos importaba. Ahora nos hemos acostumbrado a descubrir que los incidentes ocurridos en cualquier parte del mundo repercuten sobre nosotros, y estamos más atentos y sentimos más ansiedad.

En tercer lugar, ha crecido la población mundial. En los últimos cincuenta años se ha duplicado y ahora se aproxima a los cuatro mil millones. Un terremoto que en el año 1923 mató 140.000 personas en Tokio, si ahora se repitiera, quizá mataría un millón. Consideremos que la población de Los Ángeles era de 100.000 personas en 1900 y ahora es de tres millones. Un terremoto que ahora ocurriera en Los Ángeles es probable que matara treinta veces más personas de lo que lo hubiese hecho en 1900. Esto no significaría que el terremoto fuese treinta veces más potente; simplemente, que la cifra de personas víctimas propiciatorias se había multiplicado treinta veces.

Por ejemplo, el más potente terremoto registrado en la historia de los Estados Unidos no ocurrió en California, sino precisamente en Missouri. El epicentro del temblor estaba cerca de New Madrid, en el río Mississippi, cerca del rincón sudeste del Estado, y el temblor fue tan potente que cambió el curso del Mississippi. Sin embargo, ocurrió el 15 de diciembre de 1811, pero en aquella época la zona estaba escasamente poblada. No se registró ni una sola víctima. Un temblor semejante, en el mismo lugar, causaría actualmente, sin duda alguna, centenares de víctimas. Y si fuese a unos centenares de kilómetros río arriba, mataría a decenas de millares.

Por último, debemos recordar que lo que causa la muerte realmente, en el caso de los terremotos, es la propia obra del hombre. Los edificios que se derrumban entierran gente; los diques rotos ahogan a la gente; los incendios provocados por la rotura de cables eléctricos queman a la gente. Las obras del hombre se han multiplicado con los años y se han hecho más elaboradas y costosas. Esto no sólo aumenta la cifra de muertes, sino que eleva enormemente también los daños materiales.

El futuro tectónico

Por tanto, podríamos suponer, como un proceso natural que con cada década el total de muertes y de destrucción a causa de los terremotos, y en menor grado debido a los volcanes, empeorará, aunque las plataformas sigan limitándose a continuar sus movimientos de desplazamiento según han estado haciendo durante miles de millones de años. También podemos esperar que la gente, al observar un aumento en las muertes y la destrucción, sujeto todo ello a una publicidad mucho mayor, se convencerá de que la situación ha empeorado y de que la Tierra *está* desmoronándose.

¡Y no es cierto! Aunque las cosas den la impresión que empeoren, es el cambio humano en el mundo, y no el cambio tectónico, el responsable de ese empeoramiento. Naturalmente, siempre hay personas que por alguna razón están ansiosas de predecir el inminente final del mundo. En los tiempos pretéritos, la predicción se inspiraba normalmente en algún pasaje de la Biblia y a menudo se consideraba como una consecuencia de los pecados de los hombres. Actualmente, se busca la causa en algún aspecto material del universo.

En 1974, por ejemplo, se publicó un libro titulado *The Júpiter Effect* (1), de John Gribbin y Stephen Plagemann, al que le escribí un prologo porque creí que se trataba de un libro interesante. Gribbin y Plagemann calcularon el efecto de atracción en el Sol por varios de los planetas, especularon con el efecto de la influencia de la marea sobre los fulgores solares, y más todavía, especularon sobre el efecto del viento solar en la Tierra. Especialmente se preguntaban si no existiría un efecto pequeño que influyera en las tensiones de las diversas fallas. Si, por ejemplo, la falla de San Andrés estuviera a punto de deslizarse y producir un terremoto peligroso, si el efecto del viento solar pudiera añadir la pluma final que empujara la falla más allá del borde. Señalaban que, en 1982, la posición de los planetas aumentaría más que de costumbre el efecto de atracción sobre el Sol. En ese caso, si la falla de San Andrés estuviera a punto de deslizarse, 1982 sería el ano en que lo haría.

Lo primero que es necesario recordar sobre el libro es que se trata de una obra sumamente especulativa. En segundo lugar, incluso suponiendo que se produjera esa cadena de acontecimientos, si la posición de los planetas produjera un efecto de atracción anormalmente poderoso en el Sol que hiciera aumentar el número y la intensidad de los fulgores que intensificaran el viento solar que estimularan la falla de San Andrés, todo lo que ocurriría es que se produciría un terremoto que de cualquier modo hubiera ocurrido al año siguiente. Podría ser un terremoto muy fuerte, pero no sería más potente de lo que habría sido sin ese estímulo. Podría causar grandes daños, pero no a causa de su potencia; únicamente por el hecho de que los seres humanos han llenado California con gente y estructuras desde el último terremoto ocurrido en 1906.

Sin embargo, el libro se interpretó erróneamente, y ahora parece existir un miedo cerval de que en 1982 se producirá un «alineamiento planetario» que inducirá, por algún tipo de influencia astrológica, grandes desastres en el planeta, el menor de los cuales consistirá en que California quede sumergida en el mar.

¡Tonterías!

El concepto de California deslizándose hacia el mar parece interesar a los irracionalistas por alguna causa determinada. En parte, debe ser porque tienen una ligera noción de que a lo largo de la costa occidental de California hay una falla (y la hay ciertamente) y que puede producirse un movimiento en esa falla (lo que es factible). Sin embargo, el movimiento sólo sería de unos pocos metros, como máximo, y los bordes de la talla permanecerían unidos. Después de haberse producido todo el daño, California continuaría unida sólidamente en una sola pieza.

No obstante, es probable que en algún momento del futuro se produzca una dilatación a lo largo de la falla; que el material se *alzará* y separará por la fuerza los bordes de la falla, produciendo una depresión, quizá, dentro de la que el océano Pacífico podría verterse. La zona occidental de California se separaría entonces del resto de América del Norte, formando

una larga península, algo semejante a la actual Baja California, o quizás una isla alargada. Sin embargo, para que esto ocurriera se necesitarían millones de años, y, en cualquier caso, el proceso no estaría acompañado por nada peor que la aparición de terremotos y volcanes del tipo que ahora existen.

Sin embargo, persiste la línea de pensamiento California-se-desliza-dentro-del-mar. Por ejemplo, hay un asteroide, Ícaro, descubierto en 1948 por Baade, que tiene una órbita muy excéntrica. En un extremo de su órbita cruza la zona asteroidal. En el otro extremo se acerca al Sol mucho más incluso que el planeta Mercurio. Entre los dos extremos su órbita pasa muy cerca de la órbita terrestre, de modo que se trata de un «rozador de la Tierra».

Cuando Ícaro y la Tierra se encuentren en los puntos adecuados de sus órbitas, sólo estarán a una distancia de 6,4 millones de kilómetros (4 millones de millas). Incluso a esa distancia, que es diecisiete veces la distancia de la Luna, el efecto de Ícaro sobre la Tierra es nulo. Sin embargo, en su acercamiento más reciente, pudieron escucharse las advertencias sobre el deslizamiento de California hacia el mar.

El hecho real es que el peligro de los volcanes y los terremotos podría disminuir con el tiempo. Si, según se ha mencionado anteriormente, la Tierra puede perder su calor central, la fuerza que impulsa los estratos tectónicos y, por tanto, la de volcanes y terremotos, desaparecerá. Sin embargo, esto seguramente no tendrá lugar de modo significativo antes de que el Sol alcance su momento de gigante rojo.

Es más importante el hecho de que los seres humanos ya estén intentando tomar precauciones para reducir el peligro. En efecto, estar preparados, ayudaría. En el caso de los volcanes, esto es relativamente fácil. Evitarlos con sumo cuidado y adoptar una actitud prudente ante los evidentes síntomas de advertencia que preceden a casi todas las erupciones, colaboraría muchísimo en eludir los daños y la muerte. Los terremotos no se muestran tan dispuestos a cooperar, pero también proporcionan señales. Cuando un costado de una falla alcanza el punto de deslizarse contra el otro, ocurren algunos cambios menores en el suelo antes de que el choque se produzca, y estos cambios son, de un modo u otro, capaces de ser observados y medidos. Los cambios en la roca, antes de que comience a ceder, justamente antes del terremoto, incluye una disminución en la resistencia eléctrica, una ligera elevación del suelo y un aumento en el flujo de agua subterránea por los intersticios que están abriéndose por la tensión gradual de la roca. El aumento en la fluidez del agua puede quedar señalada por un aumento de los gases radiactivos, tales como el radón, en el aire, gases que, hasta aquel momento, han estado aprisionados en las rocas. Se aumenta también el nivel del agua de los pozos y se incrementa la cantidad de lodo.

Una de las señales más importantes de un terremoto inminente, y muy extraña por cierto, parece ser un cambio general en el comportamiento de los animales. Por lo general, los caballos que eran dóciles se encabritan y corren, los perros aúllan, y los peces saltan. Animales, como las serpientes y las ratas, que normalmente permanecen ocultos en sus escondrijos, surgen de pronto al aire libre. Los chimpancés pasan menos tiempo en los árboles y más en el suelo. Esto no debe hacernos creer que los animales tienen la habilidad de predecir el futuro o que poseen ciertos sentidos extraños a los seres humanos. Los animales viven en contacto mucho más íntimo con el ambiente natural, y sus precarias vidas les obligan a prestar mucha más atención a los cambios imperceptibles que nosotros no percibimos. Los ligeros temblores que preceden al choque final, les altera, y lo mismo ocurre con los sonidos extraños producidos por el roce de los bordes de la falla.

En China, en donde los temblores son más corrientes y perjudiciales que en los Estados Unidos, se realizan grandes esfuerzos para predecirlos; se moviliza a la población para que sea sensible a los cambios. Se recogen informes sobre cualquier comportamiento extraño de los animales, o de una elevación en el nivel de agua de los pozos, o de sonidos extraños procedentes del suelo, o, incluso, de una inexplicable escamilla de pintura. De este modo, los chinos declaran que han podido prevenir terremotos peligrosos con una anticipación de uno o dos días y han podido salvar muchas vidas, notablemente, dicen, en el caso de un

temblor en el nordeste de la China el día 4 de febrero de 1975. (Por otro lado, parecen haber sido sorprendidos por el temblor monstruo del 28 de julio de 1976.)

También en los Estados Unidos se están haciendo serios intentos para prevenir un terremoto. Nuestro punto fuerte es la alta tecnología, que podemos utilizar para descubrir cambios sutiles en los campos gravitacional, eléctrico y magnético, así como cambios diarios en el nivel y el contenido químico del agua de los pozos y en las propiedades del aire que nos rodea.

Sin embargo, será necesario enjuiciar el tiempo, el lugar y la magnitud de un terremoto con mucha minuciosidad, pues una falsa alarma sería muy costosa. Una evacuación rápida perjudicaría mucho más, desde el aspecto de coste económico e incomodidades personales, que un terremoto menor, y la reacción popular sería desfavorable si se demostraba que la evacuación era innecesaria. Cuando se produjera la advertencia siguiente, la gente se negaría a evacuar, y sería en aquella ocasión cuando el terremoto podría perjudicar.

Para aumentar las posibilidades de predecir un terremoto con razonable certeza, se requerirían una variedad de requisitos y comprobaciones minuciosas de la importancia relativa de sus valores cambiantes. Se pueden imaginar las lecturas temblorosas de una docena de agujas, cada una de ellas midiendo una característica diferente, lecturas que se pasarían al ordenador, que constantemente sopesaría todos los efectos y daría a conocer una cifra global que al sobrepasar cierto punto crítico daría la señal para la evacuación.

La evacuación reduciría los daños, pero, ¿nos bastaría con eso? ¿Podrían evitarse por completo los terremotos? No parece existir medio alguno practicable para que podamos modificar las rocas subterráneas, pero sí podemos hacerlo en cuanto a las aguas subterráneas. Si se perforasen pozos profundos a una distancia de varios kilómetros a lo largo de una falla, llenándolos de agua hasta hacerlos rebosar, se aliviarían las presiones subterráneas y se haría abortar el terremoto. En realidad, el agua podría hacer algo más que aliviar las presiones. Lubricaría las rocas y estimularía los deslizamientos a intervalos más frecuentes. Una serie de terremotos menores que no causen ningún daño, a pesar de su frecuencia, son preferibles a un terremoto mayor.

Aunque es más fácil predecir una erupción volcánica que un terremoto, sería mucho más arduo y más peligroso intentar aliviar las presiones volcánicas que las presiones del terremoto. Sin embargo, es razonable imaginar que se pudiera horadar los volcanes inactivos de modo que siempre permaneciera abierto un paso central a través del cual pudiera brotar la lava ardiente sin que se acumularan presiones crecientes hasta el punto de explosión, o en los que se podría abrir nuevos cauces más próximos a nivel del suelo proyectados en las direcciones en donde menos pudieran perjudicar a la gente.

Por tanto, resumiendo, parece razonable suponer que la Tierra continuará siendo suficientemente estable durante la permanencia del Sol en la secuencia principal y que la vida no se verá amenazada por ninguna convulsión de la propia Tierra o por movimientos inesperados de su corteza. Y en cuanto a los desastres locales, a causa de los volcanes y los terremotos, es posible que puedan reducirse los peligros.

Capítulo X

LOS CAMBIOS DE TIEMPO

Las estaciones

Aun cuando podamos confiar totalmente en el Sol y en una Tierra firme, a nuestro alrededor se producen cambios periódicos que ponen a prueba nuestra capacidad y la de todas las cosas vivientes en general, para continuar vivos. Como el Sol calienta la Tierra de manera desigual, a causa de su forma esférica, su distancia del Sol ligeramente distinta cuando se traslada por su órbita elíptica, y al hecho de la inclinación de su eje, las temperaturas medias en cualquier lugar determinado de la Tierra se elevan y descienden en el curso de un año, diferencias que quedan enmarcadas dentro de las estaciones.

En las zonas templadas tenemos un verano claramente caluroso y un invierno evidentemente frío, con oleadas de calor en el primero y ventisqueros en el último; y entre ambas, las estaciones intermedias de primavera y otoño. Las diferencias de las estaciones se notan mucho menos si pasamos al Ecuador, por lo menos en cuanto a temperaturas se refiere. Pero incluso en las regiones tropicales, en donde las diferencias de temperatura en el curso del año no difieren mucho y el verano es eterno, también allí existen las estaciones lluviosas y las estaciones secas.

Las diferencias de las estaciones son mucho más notables a medida que viajamos hacia los polos. Los inviernos son mucho más duros con el sol bajo, y los veranos más cortos y más frescos hasta que, finalmente, en las propias regiones polares existen los legendarios días y noches de seis meses de duración, con el astro rey rozando el horizonte, por encima o por debajo, respectivamente.

Como bien sabemos, las estaciones del año no tienen variaciones suaves de temperatura. Existen extremos que a veces alcanzan intensidades desastrosas. Hay períodos, por ejemplo, en que las lluvias escasean más de lo normal durante largo tiempo y el resultado es una sequía y la pérdida de las cosechas. Y puesto que la población de las zonas agrícolas suele crecer hasta el límite soportable en los años de buena cosecha, a la sequía le sigue el hambre.

En los tiempos preindustriales, cuando el transporte a largas distancias resultaba difícil, el hambre en una provincia podía llegar a los peores extremos, aunque en las provincias vecinas hubiera comida sobrante. Incluso en los tiempos modernos, de vez en cuando mueren millones de personas a causa del hambre. En 1877 y en 1878, murieron nueve millones y medio de personas en China a causa del hambre, y después de la Primera Guerra Mundial por la misma causa murieron cinco millones en la Unión Soviética.

El problema del hambre debería ahora ser menor, ya que es posible, por ejemplo, embarcar rápidamente trigo americano hacia la India en caso de necesidad. Sin embargo, los problemas persisten. Entre 1968 y 1973, hubo una sequía en el Sahel, comarca africana situada al sur del desierto del Sahara, en la que pereció de hambre un cuarto de millón de habitantes, y algunos millones más llegaron al borde de la inanición.

Por el contrario, hay épocas en que las lluvias son mucho más copiosas de lo normal, y pueden provocar el desbordamiento de los ríos. Inundaciones que son especialmente destructivas en las tierras llanas y pobladas, a las orillas de los ríos de la China. El Huang-Ho, o río Amarillo (conocido también como «aflicción de la China»), en el pasado se ha desbordado y causado la muerte de centenares de miles de personas. Una inundación del Huang-Ho, en agosto de 1931, se supone que ahogó a tres millones setecientas mil personas.

Algunas veces no es tanto la inundación del río lo que causa el daño, como los fuertes vientos que suelen acompañar a una tempestad. Durante los huracanes, los ciclones, los tifones, etc. (en diferentes regiones se aplican distintos nombres para describir una gran zona

de viento en giro rápido), la combinación de viento y agua puede ser mortal.

El 13 de noviembre de 1970, en las tierras bajas, muy pobladas, del río Ganges, en Bangladesh, se produjeron especialmente grandes daños cuando la potente fuerza de un ciclón arrastró las aguas del mar tierra adentro y causó la muerte de hasta un millón de personas posiblemente. En la década anterior ocurrieron por lo menos cuatro tempestades parecidas, cada una de las cuales causó la muerte a 10.000 personas, o más, en Bangladesh.

Cuando el viento se combina con la nieve, en las temperaturas más bajas del invierno, formando ventiscas, el peligro mortal es inferior, aunque sólo sea porque semejantes tempestades son más corrientes en las zonas polares y semipolares en donde la población es escasa. Sin embargo, entre los días 11 a 14 de marzo de 1888, una ventisca duró tres días en el nordeste de los Estados Unidos, mató a 4.000 personas, y una tempestad de granizo mató a 246 personas en Moradabad, India, el 30 de abril de aquel mismo año.

La tempestad que alcanza mayor dramatismo es el tornado, que consiste en unos vientos impetuosos que giran en torbellino, avanzando a velocidades de hasta 480 kilómetros (300 millas) por hora. Literalmente pueden destruir todo cuanto hallan a su paso, pero tienen la contrapartida de ser generalmente pequeños y de corta duración. A pesar de ello, en un solo año pueden presentarse en los Estados Unidos hasta un millar, en su mayor parte en las regiones centrales, y la cifra de muertos no es insignificante. En 1925, los tornados mataron a 689 personas en los Estados Unidos.

Sin embargo, estas y otras alternativas extremas del tiempo merecen tan sólo la calificación de desastres y no de catástrofes. Ninguno de ellos llegó ni siquiera a amenazar la vida, ni la civilización, como un todo. La vida se ha adaptado a estas estaciones. Existen organismos adaptados a los trópicos, a los desiertos, a la tundra, a los bosques lluviosos, y la vida puede sobrevivir a todas las inclemencias, aunque salga algo malparada en el proceso.

No obstante, ¿existirá la posibilidad de que las estaciones cambien su naturaleza y destruyan la mayor parte, o toda, la vida, por medio, supongamos, de un invierno prolongado o una dilatada estación de sequía? ¿Puede convertirse la Tierra en un Sahara planetario, o en una Groenlandia planetaria? Por nuestra experiencia de los tiempos históricos, la tentación invita a asegurar que no.

El equilibrio ha oscilado en algunas ocasiones. Por ejemplo, durante el mínimo Maunder, en el siglo XVII, la temperatura media fue más baja de lo normal, pero no lo suficientemente baja como para poner en peligro la vida. Podemos tener una sucesión de veranos secos, o inviernos suaves, o primaveras tempestuosas u otoños lluviosos, pero las cosas siempre vuelven a su cauce y nada se convierte en auténticamente insoportable.

En los últimos siglos, lo máximo que la Tierra se acercó a experimentar una auténtica aberración climática, fue en 1816, el año que siguió a la tremenda explosión volcánica en Tamboro. La cantidad de polvo arrojada hasta la estratosfera fue tan enorme, que el polvo reflejó de vuelta al espacio una cantidad anormal de radiación solar impidiéndola, por tanto, alcanzar la superficie terrestre. Este efecto equivalía a convertir el Sol en más débil y más frío, y, como resultado, el año 1816 fue conocido como «el año que no tuvo verano». En Nueva Inglaterra nevó por lo menos una vez todos los meses del año, incluyendo julio y agosto.

Es evidente que si esto sucediera sin descanso, un año tras otro, los resultados podrían llegar a ser catastróficos, pero el polvo se asentó y el clima volvió a su ciclo normal.

Sin embargo, volvamos la vista atrás, a los tiempos prehistóricos. ¿Existió alguna época en que el clima fuese notablemente más riguroso de lo que es en la actualidad? ¿Cuándo alcanzó un nivel de rigor suficiente para acercarse a la catástrofe? Como es natural, nunca llegó a ese punto suficientemente riguroso para poner fin a toda la vida, pues los seres vivientes siguen poblando la Tierra en profusión, pero ¿pudo ser lo bastante inclemente para causar problemas que, de empeorar un poco más, hubiesen amenazado seriamente la vida?

La primera sospecha de que había habido por lo menos una posibilidad de ello surgió a finales del siglo XVIII cuando nació la geología moderna. En diversos lugares se encontraron rocas de cimentación, cuyas características eran diferentes en general de las rocas que les

rodeaban. En otros lugares, se trataba de depósitos de arena y cascajo que no encajaban. La explicación natural que se le dio en esa época fue que tales dislocaciones habrían sido producidas por el Diluvio.

Sin embargo, en muchos lugares las rocas expuestas presentaban unas rayas paralelas, antiguas huellas alisadas por el tiempo, que pudieron haber sido hechas por el roce de una roca contra otra. En ese caso, una gran fuerza tenía que haber mantenido unidas las dos rocas, poseyendo además una fuerza adicional para moverlas una contra otra. El agua sola no podía hacer eso, pero si no fue el agua, ¿qué sería?

En la década de 1820, dos geólogos suizos, Johann H. Charpentier (1786-1855) y J. Venetz, estudiaron la cuestión. Conocían perfectamente los Alpes suizos y sabían que, cuando los glaciares se derretían y se retiraban ligeramente, en el verano dejaban restos de arena y cascajo. Esa arena y ese cascajo, ¿podía ser que hubieran sido arrastrados por las laderas de la montaña y que el glaciar completara esa tarea al moverse como un río muy lento? ¿Podrían los glaciares arrastrar grandes peñascos igual que arena y cascajo? Y si los glaciares fueron en otras épocas mucho mayores que ahora, ¿podían haber arrastrado peñascos por encima de otras rocas produciendo esas rayas semejantes a arañazos? Y si los glaciares habían transportado arena, cascajo, guijarros y rocas mucho más allá de los lugares en donde ahora están, ¿podría ser que hubieran retrocedido dejando tras ellos esa materia en lugares que no les eran propios?

Charpentier y Venetz aseguraban que esto es lo que precisamente había sucedido. Sugirieron que los glaciares alpinos habían sido mucho mayores y más prolongados en la Antigüedad y que las rocas aisladas al norte de Suiza habían sido transportadas allí por los enormes glaciares que se habían extendido desde las montañas del sur en el pasado, y quedaron allí cuando los glaciares se retiraron y mermaron.

Al principio, la teoría de Charpentier-Venetz no fue tomada en serio, pues los científicos en general dudaban de que los glaciares pudieran fluir como los ríos. Uno de los escépticos era un joven amigo de Charpentier, un naturalista suizo, Jean L. R. Agassiz (1807-1873). Agassiz decidió experimentar con los glaciares para comprobar si efectivamente corrían. En 1839, clavó estacas de 6 metros (20 pies) en el hielo, y en el verano de 1841, descubrió que se habían desplazado a una distancia sustancial. Y lo que es más todavía, las estacas del centro del glaciar habían sido transportadas mucho más lejos que las que estaban clavadas en las orillas en donde el hielo quedaba preso por la fricción con la montaña. Lo que antaño había sido una línea recta de estacas se convirtió en una curvada U con la abertura apuntando montaña arriba. Esto demostró que el hielo no se movía en una sola pieza, existía una especie de fluidez plástica cuando el peso del hielo superior forzaba al hielo inferior a deslizarse lentamente como la pasta de dientes de un tubo.

Probablemente, Agassiz viajó por toda Europa y Norteamérica buscando señales de rayas de glaciar en las rocas. Encontró peñascos v detritos en lugares inesperados que marcaban el empuje y la retirada de los glaciares. Encontró depresiones, o *kettle-holes* (1) que parecían presentar las características que uno esperaría tuvieran si hubiesen sido vaciados por glaciares. Algunos de ellos estaban llenos de agua; los Grandes Lagos de América del Norte son ejemplos especialmente característicos de estos agujeros llenos de agua.

Agassiz extrajo la conclusión de que, en la época de los grandes glaciares de los Alpes, existían también, en muchos lugares, vastas extensiones cubiertas por un manto de hielo. Existió una «Edad del Hielo», durante la cual capas de hielo semejantes a las que ahora cubren Groenlandia, cubrían grandes zonas de América del Norte y también de Eurasia.

Los minuciosos estudios geológicos realizados desde entonces han demostrado que el tiempo, según lo conocemos hoy, es muy diferente al tiempo típico de las épocas del pasado. Los glaciares se han extendido varias veces desde las regiones polares hacia el sur durante el pasado millón de años, y han retrocedido sólo para avanzar de nuevo. Entre los períodos de glaciación hubo «edades interglaciales», en una de las cuales estamos nosotros viviendo en la actualidad, pero no por completo. El enorme casquete de hielo de Groenlandia es un recuerdo

vivo del período más reciente de glaciación.

Dando paso a los glaciares

Evidentemente, las épocas glaciales del pasado millón de años no han puesto término a la vida en la Tierra. Ni tan siquiera pusieron fin a la vida humana. El *Homo sapiens* y sus antepasados homínidos vivieron durante las edades de hielo del último millón de años sin ninguna interrupción notable en su rápida evolución y desarrollo.

Sin embargo, es razonable preguntarse si habrá otro período de glaciación en el futuro o si todo ello forma parte únicamente del pasado. Aunque otra edad glacial no significa un final para la vida, o para la Humanidad, y en ese aspecto no es catastrófico, imaginar casi todo el Canadá y la región septentrional de los Estados Unidos bajo un glaciar de más de un kilómetro de profundidad (sin mencionar porciones de Europa y Asia igualmente bajo el hielo), podría ser bastante duro.

Para valorar las posibilidades del retorno de los glaciares, sería útil conocer, en primer lugar, las causas de esos períodos de glaciación. Antes de intentarlo, hemos de comprender que no se precisa mucho para que los glaciares se pongan en movimiento; no se requieran cambios importantes o imposibles.

En nuestra época, cada invierno caen nevadas sobre gran parte de la zona septentrional de Norteamérica y Eurasia, quedando esas regiones cubiertas de agua helada, casi como si hubiera vuelto la Edad de Hielo. Sin embargo, esa cubierta de nieve sólo alcanza de unos pocos centímetros a los dos metros de espesor, y se funde por completo durante el verano. En general, existe un equilibrio, y como norma, se derrite tanta nieve en el verano como ha caído en el invierno. No hay cambio.

No obstante, supongamos que sucediera algo que refrescara un poco los veranos, aunque sólo fuese en dos o tres grados. No sería lo suficiente para que se notase, y, naturalmente, no sería un cambio destacado. Continuaríamos disfrutando de veranos calurosos y veranos más frescos en una distribución casual, pero los veranos calurosos serían más escasos y los veranos frescos más frecuentes, de modo que, por lo general, la nieve caída durante el invierno no se derretiría por completo durante el verano. De año en año habría un aumento en la capa de nieve. Sería un aumento muy lento y se notaría en el Polo Norte y en las regiones subpolares y en las zonas de las altas montañas. La nieve acumulada se convertiría en hielo, y los glaciares existentes en las regiones polares y en las regiones más altas, incluso en las latitudes meridionales, aumentarían su extensión durante el invierno y disminuirían menos en el verano. Por tanto, cada año serían mayores.

El cambio se alimentaría en sí mismo. El hielo refleja la luz más fuertemente que la roca desnuda o el suelo. De hecho, el hielo refleja un 90 % de la luz recibida, mientras que el suelo desnudo refleja menos del 10 %. Esto significa que, a medida que la capa de hielo se extiende, se absorbe mucho menos la luz del Sol y, en cambio, se refleja mucho más. La temperatura media de la Tierra descendería un poco más, los veranos serían algo más frescos todavía y la capa de hielo se extendería aún con mayor rapidez. Así pues, como resultado de un estímulo de enfriamiento muy pequeño, los glaciares aumentarían y las capas de hielo avanzarían lentamente, año tras año, hasta cubrir, por último, vastas extensiones del suelo.

Sin embargo, cuando la edad de hielo se hubiera establecido firmemente y los glaciares hubiesen avanzado bastante hacia el sur, un estímulo a la inversa, pequeño también, podría iniciar un retroceso general. Si la temperatura media del verano se elevara dos o tres grados durante un largo período de tiempo, durante el verano se derretiría más nieve de la que había caído durante el invierno, y, de año en año, el hielo retrocedería. Al retroceder, la Tierra, en su conjunto, reflejaría menos la luz del Sol y la absorbería más. Esto añadiría calor a los veranos y el retroceso glaciar se aceleraría.

Por tanto, lo que nos conviene es identificar el estímulo que pone en marcha el avance

glacial, y hacerlo retroceder. Esto no es difícil. El problema reside, de hecho, en que existen demasiadas posibilidades de estímulo y lo difícil es elegir entre ellas. Por ejemplo, el estímulo pude estar en el propio Sol. He mencionado antes que el Maunder mínimo se presentó en una época en que la temperatura de la Tierra era más bien fría. Esa época es conocida en la actualidad, algunas veces, como «la Pequeña Era Glacial».

Si existe una conexión causal, si el Maunder mínimo enfría la Tierra, podría ocurrir que el Sol, quizá cada cien mil años aproximadamente, pase por un prolongado Maunder mínimo, de una duración de, no unas cuantas décadas, sino de unos cuantos milenios. Por entonces, el enfriamiento de la Tierra puede haber sido lo suficientemente prolongado para iniciar una edad glacial y mantenerla. Cuando, finalmente, el Sol renueve su actividad, y experimente un Maunder mínimo de corta duración tan sólo, la Tierra se calentaría ligeramente y comenzaría el retroceso del hielo.

Todo esto puede ser cierto, pero no tenemos pruebas. Es posible que los estudios más modernos de los neutrinos solares y de la razón de su escasez en número, nos proporcionen los conocimientos necesarios para saber lo que ocurre dentro del Sol y para comprender las complejidades del ciclo de las manchas solares. Entonces quizá podríamos comparar las variaciones de las manchas solares con los períodos de glaciación y poder predecir cuándo se presentaría otro período igual.

O, es posible que no fuese el propio Sol el que brillara con tan bella firmeza, sino la naturaleza del espacio entre la Tierra y el Sol.

Ya he explicado con anterioridad que sólo había una posibilidad increíblemente pequeña de un encuentro cercano con una estrella o cualquier otro pequeño objeto del espacio interestelar, ya fuese por parte del Sol o de la Tierra. Sin embargo, hay nubes ocasionales de polvo y gas entre las estrellas de los extremos de nuestra galaxia (y de otras galaxias semejantes), y el Sol, siguiendo su órbita alrededor del centro galáctico, podría pasar fácilmente entre alguna de esas nubes.

Las nubes no son densas según las normas corrientes. No podrían envenenar nuestra atmósfera, ni a nosotros. En sí mismas, no serían particularmente notables para el observador medio, y mucho menos catastróficas. El científico de la NASA, Dixon M. Butler, sugirió, en 1978, que nuestro Sistema Solar había pasado a través de por lo menos una docena de extensas nubes en el transcurso de su tiempo de vida, dato que puede ser subestimado.

Casi todos los elementos de semejantes nubes son hidrógeno y helio, lo que no nos afectaría en absoluto, en ningún sentido. Sin embargo, un 1 % aproximadamente de la masa de esas nubes consiste en polvo, granos de hielo o roca. Cada uno de estos granos reflejaría, o absorbería e irradiaría, la luz del Sol, de modo que una luz solar inferior a la normal se abriría paso por entre los granos para llegar hasta la superficie de la Tierra.

Los granos no impedirían mucho el paso de la luz hasta la Tierra. El Sol parecería igualmente brillante y hasta quizá las estrellas no presentarían diferencia alguna. Sin embargo, una nube especialmente densa podría obstaculizar la luz suficiente para que los veranos se enfriaran hasta el punto preciso para estimular una era glacial. Apartar la nube podría significar la puesta en marcha del retroceso glacial.

Es posible que durante el último millón de años el Sistema Solar haya estado cruzando una región nebulosa de la galaxia y que cada vez que pasamos por entre una nube especialmente densa que nos prive de la luz suficiente, se inicie una era glacial, y cuando la dejamos atrás, los glaciares retroceden. Con anterioridad al último período de un millón de años, hubo un período de doscientos cincuenta millones durante el cual no existieron eras glaciales, y es posible que durante todo ese tiempo el Sistema Solar estuviera cruzando regiones claras. Con anterioridad a éste, hubo la Era Glacial que he mencionado y que dio lugar al concepto de *Pangea.*

Puede ser que cada de doscientos a doscientos cincuenta millones de años ocurran una serie de eras glaciales. Ya que esto no difiere mucho del tiempo de revolución del Sistema Solar alrededor del centro galáctico, quizás ahora estamos cruzando la misma zona nubosa en

cada vuelta. Si ya hemos cruzado esa zona por completo, es posible que no se repitan los períodos de glaciación durante unos dos mil quinientos millones de años. Si no es así, mucho antes ocurrirá otro, o una serie de ellos.

Por ejemplo, en 1978, un grupo de astrónomos franceses presentó evidencias sobre la posibilidad de otra nube interestelar frente a nosotros. Puede ser que el Sistema Solar se esté acercando a ella a una velocidad de 20 kilómetros (12,5 millas) por segundo, y a ese promedio puede alcanzar los extremos de la nube dentro de unos cincuenta mil años.

Pero es posible también que no sea ni el Sol directamente ni las nubes de polvo del espacio interestelar, los que pongan en marcha la era glacial. Puede ser la propia Tierra, o, más bien, su atmósfera, la que proporcione el mecanismo necesario. La radiación solar ha de cruzar la atmósfera y eso podría afectarla.

Consideremos que la radiación solar que llega a la Tierra lo hace principalmente en forma de luz visible. El punto máximo de radiación solar *está* en las ondas cortas de la luz visible que cruza fácilmente la atmósfera. Otras formas de radiación, como los rayos X y los ultravioleta, que el Sol produce en menor cantidad, quedan bloqueados por la atmósfera.

En ausencia del Sol, de noche, por ejemplo, la superficie de la Tierra irradia calor hacia el espacio exterior. Lo hace principalmente en forma de ondas largas infrarrojas. Éstas pasan también a través de la atmósfera. En condiciones normales, estos dos efectos se equilibran, y la superficie de la Tierra, envuelta en la noche, pierde tanto calor como lo gana bañada en luz diurna, y su temperatura media se mantiene siempre igual.

El nitrógeno y el oxígeno, componentes virtuales de la atmósfera, son fácilmente transparentes, tanto para la luz visible como para la radiación infrarroja. Sin embargo, el dióxido de carbono y el vapor de agua aunque transparentes para la luz visible, no lo son para el infrarrojo. El físico irlandés John Tyndall (1820-1893) fue el primero que lo descubrió. El dióxido de carbono sólo forma parte en un 0,03 % de la atmósfera terrestre y el contenido en vapor de agua es variable, pero bajo. Por tanto, no bloquean por completo la radiación infrarroja.

Pero sí lo hacen de alguna manera. Si la atmósfera de la Tierra careciera por entero de dióxido de carbono y de vapor de agua, de noche escaparía más radiación infrarroja de la que actualmente ocurre. Las noches serían más frías de lo que ahora son, y los días, partiendo de una temperatura más fría, serían más frescos. La temperatura media de la Tierra descendería con respecto a la actual.

El dióxido de carbono y el vapor de agua en nuestra atmósfera, aunque presentes en cantidades pequeñas, bloquean suficiente radiación infrarroja para actuar como notables conservadores del calor. Con su presencia producen en la Tierra una temperatura media claramente más elevada de lo que sería normal. Esto es conocido como el «efecto de invernadero», porque el cristal de un invernadero actúa de modo semejante, dejando filtrar la luz visible del Sol y conservando la irradiación infrarroja del interior.

Supongamos que, por alguna razón, el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera aumenta ligeramente. Consideremos que se duplica hasta el 0,06 %. Esto no afectaría la respirabilidad de la atmósfera y no nos daríamos cuenta del cambio en sí mismo, tan sólo en sus efectos. Una atmósfera con ese ligero aumento de dióxido de carbono sería todavía más opaca para la radiación infrarroja. Al no permitirse la salida de la radiación infrarroja, la temperatura de la Tierra se elevaría ligeramente. Esa temperatura ligeramente más elevada incrementaría el vapor de los océanos, elevaría el nivel de vapor de agua en el aire, y, esto también, contribuiría a incrementar el efecto de invernadero.

Por otra parte, supongamos que el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera desciende ligeramente, del 0,03 % al 0,015 %. En este caso, la radiación infrarroja escapa con más facilidad y la temperatura de la Tierra desciende ligeramente. Con temperaturas más bajas, disminuye el contenido de vapor de agua, acrecentando un poco más el efecto a la inversa de invernadero. Semejantes elevaciones y descensos bastarían para poner fin, o dar comienzo, a un período de glaciación.

¿Qué es lo que podría producir tales cambios en el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera? La vida animal produce dióxido de carbono en grandes cantidades, pero la vida vegetal lo consume igualmente en gran cantidad, y el efecto de la vida suele ser mantener el equilibrio (1). Sin embargo, existen procesos naturales en la Tierra que producen o consumen dióxido de carbono independientemente de la vida y que pueden causar un desequilibrio capaz de actuar también de estímulo.

Por ejemplo, en el océano puede disolverse una gran cantidad de dióxido de carbono atmosférico, pero este carbono retorna con facilidad a la atmósfera. El dióxido de carbono también puede reaccionar con los óxidos de la corteza terrestre formando carbonatos, en los que es más fácil permanezca el dióxido de carbono.

Naturalmente, aquellas zonas de la corteza terrestre expuestas al aire ya han absorbido toda la cantidad posible de dióxido de carbono. Sin embargo, durante los períodos de formaciones rocosas salen a la superficie nuevas rocas que no han estado expuestas al dióxido de carbono, y esto puede actuar como un medio absorbente de aquella sustancia que reduce el porcentaje de la atmósfera.

Por otra parte, los volcanes arrojan grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera, puesto que el calor intenso que funde la roca convirtiéndola en lava destruye los carbonatos y libera otra vez el dióxido de carbono. En períodos de actividad volcánica extremadamente anormal, el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera puede elevarse.

Como ya se ha mencionado anteriormente, tanto los volcanes como las formaciones montañosas son resultado del movimiento de las plataformas tectónicas, pero hay épocas durante las cuales las condiciones son favorables para la actividad volcánica y otras para la formación de montañas, y épocas en que sucede lo contrario.

Es posible que cuando en un período de la Tierra sea más característica la formación de montañas, el contenido de dióxido de carbono descienda y los glaciares comiencen a avanzar. Y que cuando sea la actividad volcánica la que predomine, la cantidad de dióxido de carbono aumente, elevándose la temperatura de la superficie, y los glaciares, si los hay, comiencen a retroceder.

Pero sólo para demostrar que las cosas no son tan sencillas como pueden parecer, si la erupción volcánica tiende a ser *demasiado* violenta, podrían ser lanzadas a la estratosfera enormes cantidades de polvo, que, a su vez, producirían algunos «años sin verano» como sucedió en 1816, y *esto* también podría estimular una era glacial.

La ceniza volcánica presente en los sedimentos del océano indica que en los últimos dos millones de años, la actividad volcánica ha sido cuatro veces más intensa que en los dieciocho millones precedentes. Por consiguiente, es posible que la causa de las actuales eras glaciales de la Tierra sea debida a una estratosfera polvorienta.

Variaciones orbitales

Hasta aquí, los posibles estímulos que he descrito para poner en marcha una congelación o una descongelación, no se prestan a predicciones muy esperanzadoras respecto al futuro.

No sabemos realmente todavía cuáles son las normas que regulan los pequeños cambios de la actividad de la radiación solar. No estamos seguros de lo que nos espera con respecto a colisiones con nubes cósmicas. Ciertamente, no es posible predecir los efectos de las erupciones volcánicas y de las formaciones montañosas del futuro. Al parecer, cualesquiera que sean los estímulos disparadores, los seres humanos tendrán que vivir un año tras otro, un milenio tras otro, examinando con mucho cuidado los informes meteorológicos.

Sin embargo, existe una sugerencia que parece indicar que la llegada y la desaparición de las eras glaciales es tan regular e inevitable como el cambio de estaciones en el curso de un año.

En 1920, un físico yugoslavo, Milutin Milankovich, sugirió que existía un gran ciclo en las condiciones atmosféricas como resultado de unos pequeños cambios periódicos en la órbita de la Tierra y su inclinación axial. Habló de un «Gran Invierno» durante el cual tenían lugar las eras glaciales, y un «Gran Verano» representado en los períodos interglaciales. Naturalmente, entre ambos habría una «Gran Primavera» y un «Gran Otoño».

En aquella época, las teorías de Milankovich no recibieron más atención que las de Wegener respecto al desplazamiento continental, pero, exactamente lo mismo, *existen* cambios en la órbita de la Tierra. Por ejemplo, la órbita de la Tierra no es completamente circular, sino un tanto elíptica con el Sol situado en uno de los focos de la elipse. Esto significa que la distancia entre la Tierra y el Sol varía ligeramente de un día a otro. Hay una época en que la Tierra se halla en el «perihelio», en su punto de máxima proximidad al Sol, y una época, seis meses después, cuando está en el «afelio», en su punto más alejado del Sol.

La diferencia no es mucha. La órbita es tan ligeramente elíptica (se trata de una elipse de tan escasa excentricidad) que, si se dibujara a escala, no se podría distinguir de un círculo a simple vista. Sin embargo, esa mínima excentricidad de 0,01675 significa que en el perihelio la Tierra está a ciento cuarenta y siete millones de kilómetros (91.350.000 millas) del Sol, y en el afelio se encuentra a ciento cincuenta y dos millones de kilómetros (94.450.000 millas) del Sol. La diferencia en distancia es de cinco millones de kilómetros (3,1 millones de millas).

Cifra importante según las normas terrestres, pero la diferencia es sólo de un 3,3 %. El Sol es ligeramente mayor en apariencia en el perihelio que en el afelio, pero no lo suficiente para que pueda ser apreciado a simple vista, y sólo los astrónomos pueden observarlo. Además, el impulso gravitacional del Sol es ligeramente más potente en el perihelio que en el afelio, de modo que la Tierra se mueve con mayor rapidez en la mitad de la órbita del perihelio que en la mitad del afelio, y las estaciones no tienen igual duración, esto también pasa inadvertido a cualquier persona corriente.

Por último, esto significa que en el perihelio recibimos mayor radiación del Sol que en el afelio. La radiación obtenida varía inversamente al cuadrado de la distancia, de modo que la Tierra recibe casi un 7 % más de radiación en el perihelio que en el afelio. La Tierra alcanza su perihelio el 2 de enero de cada año y su afelio el 2 de julio. El 2 de enero está a menos de dos semanas después del solsticio de invierno, mientras que el 2 de julio está a menos de dos semanas después del solsticio de verano.

Esto significa que en el momento en que la Tierra se halla en el perihelio o cerca del mismo, y recibe mayor calor que normalmente, el hemisferio Norte está en pleno invierno, mientras que el hemisferio Sur se halla en pleno verano. El calor extra hace que el invierno del Norte sea más suave de lo que sería si la órbita de la Tierra fuese circular, mientras que el verano del Sur es más caluroso. Cuando la Tierra está en el afelio o cerca del mismo, y recibe menos calor del normal, el hemisferio Norte está en pleno verano mientras que el hemisferio Sur se encuentra en pleno invierno. La deficiencia de calor hace que el verano del Norte sea más fresco de lo que sería si la órbita de la Tierra fuese circular, y el invierno del Sur es más frío.

Por tanto, comprobamos que la calidad de elipse de la órbita de la Tierra proporciona al hemisferio Norte, exceptuando los trópicos, un cambio menor en las condiciones extremas entre verano e invierno, con respecto al hemisferio Sur, exceptuando los trópicos.

Esto puede inducir a creer que el hemisferio Norte no tendrá probablemente era glacial, aunque sí puede presentarse en el hemisferio Sur. Creencia errónea. En realidad, es el invierno suave y el verano fresco, la diferencia menos extrema, la que condiciona un hemisferio para una era glacial.

Después de todo, durante el invierno, cuando nieva es porque la temperatura está por debajo del punto de congelación, siempre suponiendo que exista exceso de humedad en el aire. Aun cuando la temperatura descienda más, la nieve no aumenta. Al contrario, es probable que disminuya, ya que cuanto más fría sea la temperatura, tanta menos humedad puede contener el aire. Las máximas nevadas se producen durante un invierno que sea todo lo suave

posible, pero sin sobrepasar con demasiada frecuencia el punto de congelación.

La cantidad de nieve que se funde durante el verano depende, naturalmente, de la temperatura. Cuanto más caluroso es el verano, tanta más nieve se derrite, y cuánto más fresco es el verano, tanto menor es la cantidad de nieve derretida. De ello se deduce que cuando los inviernos son suaves y los veranos frescos, hay mucha nieve y poca fusión, y eso es precisamente lo que se requiere para iniciarse una era glacial.

Sin embargo, no existe actualmente una era glacial en el hemisferio Norte, a pesar de los inviernos suaves y los veranos frescos. Es posible que las condiciones sean todavía demasiado extremas, y que existan otros factores que suavizarán más todavía los inviernos y refrescarán los veranos. Por ejemplo, en el momento presente el eje de la Tierra está inclinado respecto a la vertical unos 23,5 °. En el solsticio de verano, 21 de junio, el extremo norte del eje está inclinado en dirección al Sol. En el solsticio de invierno, el extremo norte del eje está inclinado en la dirección más alejada del Sol.

Sin embargo, el eje de la Tierra no siempre permanece inclinado en la misma dirección. A causa del influjo de la Luna sobre la curva ecuatorial de la Tierra, el eje de la Tierra oscila lentamente. Sigue inclinado, pero la dirección de la inclinación traza un círculo lento una vez cada 25.789 años. Esto se conoce como «la precesión de los equinoccios».

Dentro de unos 12.890 años, a partir de ahora, el eje estará inclinándose hacia la dirección opuesta, de modo que, si ése es el único cambio, el solsticio de verano será el 21 de diciembre y el solsticio de invierno, el 21 de junio. El solsticio de verano ocurriría entonces en el perihelio, y el verano del norte sería más caluroso de lo que es actualmente. El solsticio de invierno se produciría en el afelio y el invierno del Norte sería más frío de lo que es ahora. En otras palabras, la situación sería al revés de lo que es actualmente. El hemisferio Norte tendría inviernos fríos y veranos calurosos, mientras que el hemisferio Sur tendría inviernos suaves y veranos frescos.

Pero quedan todavía otros factores. El punto del perihelio está moviéndose lentamente alrededor del Sol. Cada vez que la Tierra da una vuelta alrededor del Sol alcanza el perihelio en un lugar y tiempo ligeramente diferentes. El perihelio (y también el afelio) completan un círculo alrededor del Sol aproximadamente en 21.310 años. Cada 58 años, el día de perihelio salta un día en nuestro calendario.

Pero esto no es todo todavía. Uno de los efectos de los diversos impulsos gravitacionales sobre la Tierra es provocar una oscilación en la inclinación del eje. En este momento, la inclinación axial es de 23.44229°, pero en 1900 era de 23.45229° y en el año 2000 será de 23.43928°. Como puede verse, la inclinación axial está disminuyendo, pero esa disminución tendrá un límite, y aumentará de nuevo para disminuir más tarde, y así sucesivamente. Nunca llega a ser menor de 22° ni mayor de 24,5° aproximadamente. La duración del ciclo es de 41.000 años. Una inclinación menor del eje significa que ambas extremidades de la Tierra, norte y sur, reciben menos sol en verano y más en invierno. El resultado es inviernos más suaves y veranos más frescos para *ambos* hemisferios. Y, por el contrario, cuanto mayor la inclinación del eje, tanto más extremas las estaciones de *ambos* hemisferios. Por último, la órbita de la Tierra se hace más y menos excéntrica. La excentricidad, que en este momento es de 0,01675, está disminuyendo y quizá alcanzará un valor mínimo de 0,0033, o sea, únicamente 1/15 de su cifra actual. En aquel momento la Tierra estará tan sólo a novecientos noventa mil kilómetros (610.000 millas) más cerca del Sol en el perihelio que en el afelio. Después, la excentricidad comenzará a incrementarse de nuevo hasta un máximo de 0,0211, o sea, 1,26 veces su valor actual. La Tierra se encontrará entonces a seis millones trescientos diez mil kilómetros (3.920.000 millas) más cerca del Sol en el perihelio que en el afelio. Cuanto menor sea la excentricidad y más cerca del círculo esté la órbita, tanto menor la diferencia en el grado de calor que la Tierra recibe del Sol en las diferentes épocas del año. Esto estimula la situación invierno-suave/verano-fresco.

Si se tiene en cuenta todas estas variaciones en la órbita de la Tierra y en su inclinación axial, parece que, en conjunto, la tendencia a estaciones suaves y estaciones

extremas se alterna en un ciclo aproximado de 100.000 años.

En otras palabras, cada una de las «Grandes Estaciones» de Milankovich dura unos 25.000 años. Al parecer, ahora hemos pasado la «Gran Primavera» del retroceso de los glaciares, y continuaremos a través del «Gran Verano» y el «Gran Otoño», hasta el «Gran Invierno» de una era glacial dentro de unos 50.000 años a partir de ahora.

Sin embargo, ¿es correcta esta teoría? Las variaciones en la órbita y en la inclinación axial son pequeñas y la diferencia entre el invierno-frío/verano-caluroso e invierno suave/verano-fresco no es realmente importante. ¿Basta esa diferencia?

El problema fue examinado por tres científicos, J. D. Hays, John Imbrie y N. J. Shackleton, y sus resultados se publicaron en diciembre de 1976. Trabajaron en grandes núcleos de sedimento extraído de dos lugares diferentes del océano índico. Los lugares estaban muy alejados de las zonas terrestres, de modo que no hubiera material arrastrado de la costa que pudiera confundir el informe. Los lugares eran relativamente de bajío de modo que hubiera material barrido de las áreas contiguas, menos profundas.

Se suponía que el sedimento sería material puro depositado en aquel lugar, durante siglos, y se creía que el núcleo extraído abarcaba un período anterior a 450.000 años. Se tenía la esperanza de que se encontrarían cambios a medida que se profundizara más, cambios tan evidentes como los anillos de los troncos de los árboles que permitían diferenciar los veranos secos de los húmedos.

Uno de los cambios se relacionaba con la diminuta *radiolaria,* que había vivido en el océano durante el medio millón de años que se estaba investigando. Los radiolarios son protozoos de una célula, con esqueletos diminutos y elaborados, que después de su muerte, se depositan en el fondo del mar como una especie de légamo. Hay numerosas especies de radiolarios, algunas de las cuales necesitan de más calor que otras. Se distinguen fácilmente unas de otras por la naturaleza de sus esqueletos, y, por tanto, se puede progresar por los núcleos de sedimento, milímetro a milímetro, estudiando la naturaleza de los esqueletos de radiolarios y extrayendo conclusiones de ellos sobre la temperatura del agua del océano en una época determinada. De este modo, se puede *trazar* una curva de la temperatura del océano en las diversas épocas.

También pueden conocerse los cambios de temperatura del océano, anotando el radio de dos variedades de átomos de oxígeno: oxígeno-16 y oxígeno-18. El agua que contiene oxígeno-16 en sus moléculas, se evapora más fácilmente que el agua que contiene oxígeno-18.

Esto significa que el agua de lluvia o la nieve que cae sobre la Tierra está compuesta de moléculas más ricas en oxígeno-16 y más pobres en oxígeno-18 que el agua del océano. Si cae una gran nevada en la Tierra y queda presa en los glaciares, el agua del océano restante sufre un déficit considerable de oxígeno-16 mientras que se acumula el oxígeno-18.

Ambos sistemas para juzgar la temperatura del agua (y la preponderancia de hielo en la tierra), dieron idénticos resultados, aunque diferían ampliamente en naturaleza. Y lo que es más, el ciclo producido por estos sistemas era muy semejante al ciclo calculado por los cambios en la órbita de la Tierra y en su inclinación axial.

Así pues, parece que, por el momento, y siempre que no surja posterior evidencia, el concepto Milankovich de las Grandes Estaciones es válido.

El océano Ártico

Si las eras glaciales siguen a las Grandes Estaciones, podríamos predecir exactamente cuándo comenzará la próxima era glacial. Sería dentro de unos 50.000 años a partir de ahora.

Por supuesto, no hemos de suponer que la causa de las eras glaciales es unitaria en su naturaleza. Pueden existir diversas causas. Por ejemplo, los cambios orbitales y axiales pueden fijar el período básico, pero otros efectos podrían tener una influencia menos regular. Los cambios en la radiación solar, o en la cantidad de polvo en el espacio entre la Tierra y el

Sol, o en el contenido de dióxido de carbono en la atmósfera, pueden, por sí solos, o conjuntamente, afectar el ciclo reforzándolo algunas veces y neutralizándolo otras.

Si dos o más efectos coinciden, podría presentarse una era glacial mucho peor de lo normal. Si los cambios orbitales y axiales quedan neutralizados por un espacio extraordinariamente claro, o un contenido demasiado elevado en dióxido de carbono, o un sol anormalmente activo, podría haber una era glacial más bien suave o quizá podría no suceder.

En el caso presente podríamos esperar lo peor, ya que dentro de 50.000 años no sólo llegaremos al «Gran Invierno», sino que, además (como ya se ha indicado anteriormente en este capítulo), podemos penetrar en una nube cósmica que reduzca la radiación solar que ahora estamos recibiendo.

Sin embargo, podríamos estar por completo equivocados. Después de todo, las oscilaciones orbital y axial deberían haber ocurrido con absoluta regularidad por toda la duración del Sistema Solar en su estructura presente. Cada cien mil años aproximadamente, debería haberse presentado una era glacial durante la historia de la vida.

Pero no ha sido así. Las eras glaciales sólo han venido ocurriendo durante el último millón de años más o menos. Antes de eso, y durante un período de unos doscientos millones de años, al parecer no existieron las eras glaciales en absoluto. Es posible que incluso ocurran períodos sucesivos de eras glaciales durante un par de millones de años, separados por intervalos de dos mil quinientos años.

En ese caso, ¿por qué los intervalos? ¿Por qué no ocurrían eras glaciales durante esos largos intervalos, si las oscilaciones orbital-axial continuaban durante ese tiempo exactamente como ahora? La razón puede hallarse en la configuración tierra-mar de la superficie terrestre.

Si una región polar consistía en una vasta extensión de mar, habría algunos millones de kilómetros cuadrados de mar helado, no muy grueso, girando alrededor del polo. El mar de hielo será más grueso y más extenso durante el invierno, y más delgado y menos extenso durante el verano. Hacia fines de la era glacial de la oscilación orbital-axial, el mar de hielo sería, en su conjunto, más grueso y más extenso durante el invierno y el verano, aunque no mucho más. Existen corrientes oceánicas que continuamente aportan aguas más calientes procedentes de las regiones templadas y tropicales, y esto contribuye a mejorar la temperatura polar, incluso durante una era glacial.

Y, además, si una región polar consistía en un continente con el polo más o menos situado en su centro, y un mar compacto a su alrededor, es de suponer que el continente estaría cubierto por una gruesa capa de hielo que no se fundiría durante el verano muy fresco y que iría acumulándose un año tras otro.

Sin embargo, el hielo no se acumularía para siempre, naturalmente, ya que el hielo flota bajo la presión de un peso considerable, según demostró Agassiz hace siglo y medio. El hielo flota gradualmente hasta el océano que le rodea, rompiéndose en forma de grandes icebergs. Los icebergs, junto con el mar helado, flotarían alrededor del continente polar y se derretirían gradualmente al ser arrastrados hacia latitudes más templadas. Durante una era glacial, los icebergs se multiplicarían y durante los períodos interglaciales disminuirían, pero el cambio no sería importante. El océano que le rodea, gracias a las corrientes marinas, mantendría su temperatura muy cerca de la normal, con era glacial o no.

Semejante caso existe realmente en la Tierra, pues la Antártida está cubierta por un grueso casquete de hielo y el océano que la rodea está preso en el hielo. Sin embargo, la Antártida ha tenido ese casquete de hielo durante unos veinte millones de años, y poco le ha afectado la aparición y desaparición de las eras glaciales.

No obstante, imaginemos un océano polar, pero *no* uno muy extenso. Supongámoslo pequeño, casi cercado de tierra, semejante al océano Glacial Ártico. El océano Glacial Ártico, que no es mayor que el continente de la Antártida, está rodeado casi por entero por las enormes masas continentales de Eurasia y Norteamérica. La única conexión notable entre el océano Glacial Ártico y el resto de las aguas mundiales es un estrecho de 1.600 kilómetros (1.000 millas) de anchura, entre Groenlandia y Escandinavia, e incluso este estrecho está

bloqueado en parte, por Islandia.

Es la tierra del norte la que establece toda la diferencia. Durante el período previo a una era glacial, la nieve adicional que cayese durante un invierno suave, lo haría sobre la tierra y no en el mar. En el océano, la nieve sencillamente se fundiría, porque el agua posee una gran capacidad calorífica y porque, aunque la nieve acumulada fuese capaz de hacer descender la temperatura del océano hasta el punto de congelación, las corrientes de agua más cálidas se lo impedirían.

Sin embargo, en la tierra firme los copos de nieve tienen mejor suerte. La tierra posee una capacidad calorífica inferior, de manera que se enfría mucho más rápidamente bajo un determinado peso de nieve. Además, no existen corrientes algunas que puedan mejorar la situación, de manera que el suelo se endurece al helarse. Y si durante el verano el calor no es suficiente para derretir toda la nieve, esa nieve se convertirá en hielo y los glaciares comenzarán su marcha.

La presencia de las grandes zonas de tierra que rodean el Polo Norte, proporciona una gran zona receptora de nieve y de hielo, y el océano Glacial Ártico (sobre todo antes de que el avance de la era glacial lo cubra de mar helado) proporciona la fuente de agua. La combinación océano-continente en el hemisferio septentrional puede llevar el efecto de la era glacial a su punto máximo.

Pero la combinación océano-continente en el hemisferio septentrional no es algo permanente. Cambia constantemente como resultado de las plataformas tectónicas.

Por tanto, se deduce que mientras la superficie terrestre esté dispuesta de modo que las regiones polares son un océano abierto o un continente aislado, rodeado por el océano abierto, no hay que esperar eras glaciares espectaculares. Únicamente cuando los estratos en movimiento dan como resultado una combinación, según existe en la actualidad en las regiones polares, que el ciclo orbital-axial nos trae el tipo de eras glaciales que ya conocemos. Y al parecer, eso, sólo sucede una vez en el transcurso de doscientos cincuenta millones de anos aproximadamente. . .,

Pero ésta es la situación actual, y ciertamente, la disposición de los continentes no cambiará de manera notable durante un millón de años más o menos, así que no sólo estamos próximos a una era glacial, sino a toda una serie de ellas.

El efecto de glaciación

Supongamos que aparece una era glacial. ¿Hasta dónde podría llegar el desastre? Después de todo, han transcurrido millones de años durante los cuales los glaciares han estado apareciendo y desapareciendo, y aún estamos todos aquí. Eso es cierto, y si nos detenemos a pensar en ello los glaciares se arrastran lentamente. Necesitan millares de años para avanzar, e incluso en el período de máxima glaciación, es sorprendente los pocos cambios sufridos en las partes importantes del Globo.

En este mismo momento, existen unos veinticinco millones de kilómetros cúbicos (6 millones de millas cúbicas) de hielo en la superficie de diversas tierras, del mundo, principalmente en la Antártida y Groenlandia. En el punto máximo de glaciación, había una enorme capa de hielo que cubría la mitad septentrional de América del Norte y capas más pequeñas de hielo en Escandinavia y el norte de Siberia. En esa época, había sobre la superficie terrestre un total de quizá setenta y cinco millones de kilómetros cúbicos (18 millones de millas cúbicas) de hielo. Esto significa que, en el punto máximo de glaciación, cincuenta millones de kilómetros cúbicos (12 millones de millas cúbicas) de agua, que ahora se encuentra en los océanos, se hallaba entonces sobre la tierra firme.

Sin embargo, el agua sustraída de los océanos para alimentar los glaciares era, incluso en el punto máximo de la glaciación, únicamente un 4 % del total, lo cual significa que hasta en el punto máximo de la glaciación, el 96 % del océano se hallaba justamente en el mismo

lugar que hoy día.

Por tanto, desde el punto de vista de espacio exclusivamente, la vida marina no debía experimentar ninguna disminución en su ambiente. Es evidente que el agua del océano debía de ser, por lo general, algo más fría que en la actualidad, pero, ¿y qué? El agua fría disuelve más oxígeno que el agua caliente, y la vida marina depende del oxígeno tanto como nosotros. Por este motivo, las aguas polares son mucho más ricas en seres vivos que las aguas tropicales, y explica por qué las aguas polares pueden alimentar a los gigantescos mamíferos que se alimentan de animales marinos: como las grandes ballenas, los osos polares, los elefantes marinos, etc.

Si, durante una era glacial, el agua del océano es más fría que ahora, tal circunstancia estimularía la vida. *Ahora* es precisamente cuando la vida marina podría sentir la opresión, y no entonces.

La situación sería muy diferente en tierra firme, en donde las cosas podrían resultar mucho más desastrosas. En el momento actual un 10 % de la superficie de la tierra firme está cubierta de hielo. En el punto máximo de glaciación, ese aumento se triplicó; un 30 % de la actual superficie de tierra firme quedó cubierta de hielo. Esto significa que el área disponible para la vida en la tierra quedó reducida simplemente de unos ciento diecisiete millones de kilómetros cuadrados (45 millones de millas cuadradas) de suelo libre de hielo, por lo menos durante el verano, a unos noventa millones de kilómetros cuadrados (35 millones de millas cuadradas). Sin embargo, ésa no es una descripción exacta de lo que realmente sucede.

En el punto máximo de glaciación, la pérdida del 4 % del agua líquida del océano significa un descenso en el nivel del mar de hasta 150 metros (490 pies). Esto no cambia en mucho al propio océano, pero alrededor de cada continente hay unas franjas submarinas de escasa profundidad al borde de los océanos. Estas franjas con menos de 180 metros (590 pies) de agua por encima, son las llamadas «plataformas continentales». Al descender el nivel del agua del mar, la mayor parte de las plataformas continentales quedan al descubierto lentamente, abiertas a la invasión de la vida de tierra firme.

En otras palabras, a medida que los glaciares avanzan y se apoderan de la tierra, el nivel del mar desciende y deja al descubierto nueva tierra. Los dos efectos pueden equilibrarse grandemente. Dado que los glaciares avanzan con extrema lentitud, la vegetación se desplaza muy despacio hacia el sur, invadiendo las plataformas continentales al descubierto, a la cabeza de los glaciares, y la vida animal, naturalmente sigue a la vegetación.

A medida que los glaciares avanzan, el cinturón tempestuoso también retrocede hacia el sur, llevando la lluvia a las zonas más calurosas de la Tierra que no estaban acostumbradas a ella anteriormente (y tampoco después). Resumiendo, lo que ahora son desiertos, no eran desiertos durante la era glacial. Con anterioridad a la última retirada de los glaciares, lo que ahora es el desierto del Sahara consistía en fértiles tierras de pasto.

Aunque resulte paradójico, el hecho es que, al quedar expuestas las plataformas continentales y reducidos los desiertos, el área total de tierra firme abierta a una rica saturación de las formas de vida era mayor durante la culminación de una era glacial de lo que es en este momento. Especialmente, durante la última era glacial, los seres humanos, no nuestros antepasados homínidos, sino el propio *Homo sapiens,* se trasladó hacia el sur a medida que los glaciares avanzaban, y al norte cuando éstos retrocedían y progresaron.

Por tanto, ¿cómo podría ser diferente una era glacial en el futuro? Por ejemplo, supongamos que los glaciares estuvieran ahora iniciando un nuevo avance. ¿Hasta dónde podría resultar desastroso?

Es evidente que la Humanidad es menos móvil ahora de lo que solía ser antiguamente. En la época de la última era glacial, podían existir unos veinte millones de seres humanos en toda la Tierra; ahora existen cuatro mil millones, doscientas veces más que entonces. Es mucho más difícil mover cuatro mil millones de personas que veinte millones. Consideremos el cambio en los estilos de vida. En la época de la última era glacial, los seres humanos no estaban en modo alguno subordinados al suelo. Recogían y cazaban su alimento. Seguían la

vegetación y los animales, y todos los lugares eran iguales para ellos mientras pudieran encontrar frutos, nueces, fresas y caza.

Desde la última era glacial los seres humanos han aprendido a ser granjeros y mineros. Las granjas y las minas no pueden transportarse. Tampoco pueden hacerlo las vastas estructuras que los seres humanos han construido, las ciudades, los túneles, los puentes, las líneas eléctricas, etc., etc. Nada de todo esto puede trasladarse; sólo puede abandonarse y construir nuevos modelos en otra parte.

Sin embargo, no hay que olvidar la lentitud con que los glaciares avanzan y retroceden, y, como resultado, la lentitud con que el nivel del mar desciende y se eleva. Habrá tiempo de sobra para realizar el traslado, sin desastre ninguno. Podemos imaginar a la Humanidad trasladándose despacio hacia el sur e invadiendo las plataformas continentales, y después hacia el interior y el norte de nuevo, una y otra vez, en lentas alternativas, mientras dure la presente configuración continental alrededor del Polo Norte. Sería una especie de espiración de 50.000 años, seguida por una aspiración de 50.000 años, y así sucesivamente.

No sería un movimiento constante, pues los glaciares avanzan con intervalos de retroceso parcial, y retroceden con intervalos de avance parcial; pero los seres humanos, con dificultad, imitarán esos avances y esos retrocesos en toda su complejidad, siempre que los avances y los retrocesos sean suficientemente lentos.

Con toda seguridad, las diferencias ambientales no se deben única y exclusivamente al avance de los glaciares. El retroceso de los glaciares desde la última era glacial no es absoluto. Queda la capa de hielo de Groenlandia, una reliquia no derretida de la era glacial. ¿Qué sucedería si, con un Gran Verano frente a nosotros, el clima continuara suavizándose y el hielo polar del norte se fundiera, incluyendo la capa de hielo de Groenlandia?

La capa de hielo de Groenlandia contiene 2,6 millones de kilómetros cúbicos (620.000 millas cúbicas) de hielo. Si ese hielo y otras capas menores en alguna de las otras islas polares se derritiera y se vertiera en el océano, el nivel del mar se elevaría unos 5,5 metros (17,5 pies). Esto resultaría penoso para algunas de nuestras zonas costeras, en especial para las ciudades bajas, como Nueva Orleáns, que quedarían inundadas por el mar. Pero si la fusión se realizaba con bastante lentitud, es de suponer que las ciudades costeras abandonarían poco a poco la zona costera y se retirarían a tierras más elevadas, fuera del desastre.

Supongamos que, por alguna razón, también la capa de hielo de la Antártida se fundiera. No es probable que suceda en el curso natural de las cosas, pues ha sobrevivido todos los períodos interglaciales del pasado, pero, ¡supongámoslo! Puesto que el 90 % del suministro de hielo de la Tierra se encuentra en la Antártida, si éste se derritiera, el nivel del mar se elevaría diez veces más de lo que lo haría la fusión del hielo de Groenlandia. El nivel del mar se alzaría unos 55 metros (175 pies) y el agua alcanzaría el piso decimoctavo de los rascacielos de Nueva York. Las orillas bajas de los continentes actuales quedarían bajo el agua. El Estado de Florida y muchos de los Estados del Golfo desaparecerían. Y lo mismo ocurriría con las islas Británicas, los Países Bajos, el Norte de Alemania, etc.

Sin embargo, el clima de la Tierra sería mucho más uniforme, y no existirían ni las zonas polares ni las zonas desérticas. El espacio disponible para la Humanidad sería tan amplio como antes y si el cambio se producía con la lentitud adecuada, incluso la fusión de la Antártida no sena terriblemente desastrosa.

No obstante, si la venida de la próxima era glacial o el derretimiento de la Antártida se posponen por algunas decenas de millares de años, es posible que no suceda nada de todo ello. La creciente tecnología de la Humanidad podría modificar, quizás, el estímulo de la era glacial y mantener constante la temperatura media de la Tierra, si así se desea.

Por ejemplo, podrían colocarse espejos cerca del espacio, fácilmente regulables, útiles para reflejar la luz del Sol, de la que carecería la Tierra normalmente, en la nocturna superficie terrestre; o podría reflejar la luz del Sol que normalmente alumbraría la superficie diurna de la Tierra, impidiendo que llegara a ésta. De esta manera la Tierra se calentaría ligeramente si los glaciares amenazaban, o se enfriaría si amenazara la fusión de hielo (1).

También podrían desarrollarse métodos para alterar el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera terrestre, bajo control, permitiendo de este modo que el calor escapara de la Tierra si hay peligro de fusión del hielo, o conservando el calor si los glaciares amenazan. Por último, a medida que los pobladores de la Tierra se dispersan cada vez más por las colonias espaciales, las apariciones y desapariciones de los glaciares ya no tendrán tanta importancia para la Humanidad.

Resumiendo, las eras glaciales, tal como han ocurrido en el pasado, no serían catastróficas en el futuro, y quizá ni siquiera resultarían desastrosas. De hecho, hasta podrían evitarse, gracias a la tecnología humana.

Pero, ¿qué sucedería si los glaciares se aproximaran inesperadamente a velocidades sin precedentes, o si el suministro de hielo de la Tierra se fundiera de súbito y a una velocidad inaudita? ¿Y qué sucedería si todo eso ocurre antes de que estemos tecnológicamente preparados para ello? *En tal caso,* podríamos sufrir un gran desastre, y, quizá, casi una catástrofe. Existen ciertas condiciones en las cuales esto podría suceder, condiciones de las que me ocuparé más adelante.

Capítulo XI

LA ELIMINACIÓN DEL MAGNETISMO

Rayos cósmicos

Aunque los diversos desastres en los que la Tierra se ha visto envuelta, desde las eras glaciales a los terremotos, nunca han bastado para borrar la vida de la superficie planetaria, según Cuvier y otros catastrofistas imaginaron hace un siglo y medio, se han producido unas cuasicatástrofes, ocasiones en que la vida ha sufrido un daño devastador. Al final del período pérmico, hace 225 millones de años, en un período de tiempo relativamente corto, pereció un 75 % de las familias de los anfibios y un 80 % de las familias de los reptiles. Fue un ejemplo de lo que algunas personas han llamado «una gran mortandad».

Seis veces más, a partir de entonces, parecen haber ocurrido estas grandes mortandades. Una entre ellas, más comúnmente conocida, se produjo al final del período cretáceo, hace 70 millones de años. En esa época se extinguieron por completo los dinosaurios, después de haber progresado durante 150 millones de años. Y lo mismo ocurrió a los grandes reptiles marinos, como los ictiosaurios y plesiosaurios, y a los pterosaurios voladores. Entre los invertebrados, se extinguieron las amonitas, un grupo muy amplio y próspero. De hecho, durante un período relativamente corto se extinguió hasta un 75 % de todas las especies animales que vivían en la época.

Es probable que tan grandes mortandades fuesen el resultado de algún cambio notable y bastante repentino en el ambiente; pero debió de ser un cambio que permitiera la supervivencia de un gran número de especies, y, hasta donde nosotros sabemos, escasamente afectadas.

Una explicación bastante lógica afecta los mares poco profundos que de vez en cuando invaden a los continentes, y de vez en cuando se retiran. La invasión puede ocurrir cuando la carga de hielo de las tierras polares es particularmente baja; y la retirada puede tener lugar durante los períodos de alzamiento de montañas cuando la altitud media de los continentes se eleva. En cualquier caso, los mares poco profundos que se adentran en tierra firme brindan un ambiente favorable para el desarrollo de un gran número de especies de animales marinos, y éstos, a su vez, ofrecen un suministro de alimento constante y abundante a los animales que viven en las orillas. Cuando los mares invasores se retiran, tanto los animales marinos como los terrestres que viven de aquéllos, mueren naturalmente.

En cinco de los siete casos de las grandes mortandades de los últimos doscientos cincuenta millones de años, al parecer hubo períodos de retirada del mar. La explicación también encaja en el hecho de que los animales marinos parecen estar más sujetos a grandes mortandades que los animales terrestres, y que el mundo vegetal no parece quedar afectado en absoluto.

Aunque la retirada del mar parece ser la solución más lógica y razonable al problema (y una solución tranquilizadora para los seres humanos que no viven en mares de tierras adentro y que viven en un mundo en el que no hay mares importantes de esta clase), se han ofrecido también muchas otras sugerencias para explicar las grandes mortandades. Una de esas explicaciones, aunque no muy probable, es extraordinariamente dramática. Y lo que es más, introduce un tipo de catástrofe que todavía no hemos considerado, y que podría constituir una amenaza para la Humanidad. Envuelve a la radiación del espacio que no proviene del Sol.

En los primeros años del siglo XX, se descubrió una radiación más penetrante y enérgica todavía que las radiaciones recientemente descubiertas producidas por los átomos radiactivos. En 1911, para comprobar si esta penetrante radiación procedía del suelo, el físico austríaco Víctor Francis Hesse (1883-1964) envió mecanismos detectores de radiación en

globos que elevó hasta una altura de unos 9.000 m (5,6 millas). Esperaba confirmar que el nivel de radiación disminuía porque parte de él sería absorbido por el aire entre el suelo y el globo.

Por el contrario, resultó que la intensidad de la radiación penetrante se incrementaba con la altura, de modo que resultó evidente que procedía del universo exterior, o Cosmos. De aquí proviene el nombre «rayos cósmicos» que se dio a la radiación en 1925, por el físico americano Arthur Andrew Millikan (1868-1953). En 1930, el físico americano Arthur Holly Compton (1892-1962) pudo demostrar que los rayos cósmicos eran partículas muy energéticas, de carga positiva. Ahora entendemos cómo se originan los rayos cósmicos.

El Sol, y probablemente todas las estrellas, sufren unos procesos lo bastante potentes para arrojar partículas al espacio. Estas partículas son, en su mayor parte, núcleos atómicos. Dado que el Sol está formado principalmente de hidrógeno, los núcleos de hidrógeno, que son simples protones, constituyen las partículas más corrientes. Otros núcleos más complejos existen en cantidades inferiores.

Estos protones de energía y otros núcleos que el Sol lanza en todas direcciones, constituyen el viento solar al que me he referido con anterioridad.

Cuando en el Sol se produce una actividad especialmente enérgica, las partículas son arrojadas al espacio con mayor fuerza. Cuando en la superficie del Sol se producen «brotes» intensos de luz, en el viento solar se incluyen partículas muy cargadas de energía que pueden alcanzar los límites más bajos de las energías relacionadas con los rayos cósmicos. (Se les conoce como «rayos cósmicos blandos».)

Otras estrellas envían también vientos estelares, y las que son más masivas y más calientes que el Sol mandan vientos más ricos en partículas a los niveles de energía de los rayos cósmicos. Las supernovas especialmente lanzan enormes riadas de rayos cósmicos energéticos.

Las partículas de los rayos cósmicos, con su carga eléctrica, describen una trayectoria curva al cruzar un campo magnético. Cada estrella posee un campo magnético, y la galaxia, como conjunto, también posee el suyo. Por tanto, cada partícula de rayo cósmico sigue un complicado camino curvo y en el proceso es acelerada por los campos magnéticos por los que atraviesa, con lo cual aumenta todavía más su energía.

Finalmente, todo el espacio interestelar dentro de nuestra galaxia es rico en partículas de rayo cósmico que vuelan en todas direcciones según los giros y las vueltas que les haya hecho seguir el campo magnético por el que han cruzado. La casualidad puede hacer que un porcentaje muy pequeño de estas partículas llegue hasta la Tierra, y así sucede, en efecto, desde todas las posibles direcciones.

Por tanto, aquí tenemos un nuevo tipo de invasión del espacio exterior que todavía no habíamos considerado. He señalado anteriormente las pocas probabilidades que existen de un encuentro entre el Sistema Solar y alguna estrella, o de que penetraran en nuestro sistema pequeños fragmentos de materia procedentes de otros sistemas planetarios. Después, he mencionado las partículas de polvo y átomos de las nubes interestelares.

Examinaremos ahora las invasiones del espacio, más allá del Sistema Solar, del más diminuto de todos los objetos materiales: las partículas subatómicas. Hay tantas y están distribuidas tan densamente a través del espacio, y viajan a unas velocidades tan próximas a las de la luz, que la Tierra se halla expuesta constantemente al bombardeo de estas partículas.

Sin embargo, los rayos cósmicos no dejan una huella visible en la Tierra, por lo cual no nos damos cuenta de su llegada. Únicamente los científicos, con sus mecanismos especiales de detección, pueden percibir los rayos cósmicos, desde hace dos generaciones tan sólo.

Tengamos en cuenta que han estado cayendo sobre la Tierra a través de toda la historia planetaria y la vida en este planeta no parece haber empeorado por su causa. Tampoco los seres humanos parecen haber sufrido por tal motivo en el curso de su historia. Por tanto, al parecer podrían ser eliminados como origen de una catástrofe... pero no podemos hacerlo.

Para saber la razón de ello, examinemos la célula.

ADN y mutaciones

Cada célula viva es una diminuta factoría química. Las características de una célula determinada, su forma, su construcción, sus habilidades, dependen de la naturaleza exacta de los cambios químicos que se producen dentro de ella, la velocidad media de cada uno, y el modo en que todos ellos están relacionados. Tales reacciones químicas normalmente procederían con lentitud y casi de manera imperceptible si las sustancias que componen las células y participan en las reacciones se mezclaran simplemente. Para que las reacciones procedan a una velocidad rápida y regulada suavemente (como se ha observado proceden y como es necesario para que la célula se mantenga viva), estas reacciones han de tener lugar con la ayuda de ciertas moléculas complicadas llamadas «enzimas».

Las enzimas son miembros de una clase de sustancias llamadas «proteínas». Las proteínas están compuestas de moléculas gigantes, cada una de ellas formada por cadenas de bloques constructores más pequeños llamados «aminoácidos». Existen unas veinte clases de aminoácidos esenciales, los cuales son capaces de unirse en cualquier orden concebible.

Supongamos que comenzamos con cada uno de esos veinte aminoácidos y los reunimos en todas las combinaciones posibles. Resulta que el número total de órdenes diferentes en que pueden combinarse es igual a unos 50.000.000.000.000.000.000 (50 trillones), y cada orden diferente representa una molécula perfectamente distinta. Las moléculas de la enzima están formadas por un centenar, o más, de aminoácidos que pueden combinarse en una cifra enormemente inimaginable.

Sin embargo, una determinada célula contendrá tan sólo un número limitado de enzimas y cada molécula, con su formación característica de enzimas de una cadena de aminoácidos elaborada por éstos en un orden específico.

Una determinada enzima está construida de tal modo que determinadas moléculas se adherirán a la superficie de la enzima de modo que la interacción entre ellas, que supone una transferencia de átomos, pueda realizarse fácilmente. Después de la interacción las moléculas transformadas ya no se adherirán a la superficie. Se liberarán y otras moléculas se adherirán y pasarán por la reacción. Como resultado de la presencia de las moléculas de una enzima determinada, aunque sean pocas, grandes cantidades de moléculas reaccionan entre sí, reacción que no hubiese tenido lugar si la enzima no hubiese estado presente (1).

Por tanto, de lo expuesto se deduce que la formación, construcción y habilidades de una célula determinada, dependen de la naturaleza de las diferentes enzimas en esa célula, las cifras relativas de las diferentes enzimas y la manera en que realizan su trabajo. Las propiedades de un organismo multicelular depende de las propiedades de las células que lo componen y de la manera en que esas células individuales se interrelacionan. Por consiguiente, todos los organismos, incluyendo los seres humanos, son, en definitiva, el producto de sus enzimas (que no actúan, naturalmente, de un modo simple).

En ello parece haber una dependencia muy casual. Si una enzima no está construida en un orden preciso de aminoácidos, puede estar incapacitada para llevar a cabo su tarea. Un pequeño cambio en un aminoácido por otro, y la superficie de la enzima puede no servir como el «catalizador» adecuado para la reacción que controla.

¿Qué es, por tanto, lo que forma las enzimas con tanta precisión? ¿Qué es lo que controla que un determinado aminoácido esté precisamente en el orden adecuado para una determinada enzima, y no en otro? ¿Existe en la célula alguna sustancia clave que lleve un «plano», por expresarlo de alguna manera, de todas las enzimas de la célula, guiando de esta manera su elaboración?

Si existe semejante sustancia clave, debe de hallarse en los «cromosomas». Éstos son corpúsculos existentes en el núcleo de las células y que se *comportan* como si dispusieran del

plano.

Los cromosomas se presentan en diversos números en las diferentes especies de organismo. Por ejemplo, en los seres humanos cada célula contiene veintitrés pares de cromosomas.

Cada vez que una célula se divide, cada cromosoma se escinde, en primer lugar, en dos cromosomas, ambos idénticos. En el proceso de la división celular, una de las réplicas de cada cromosoma entra en una célula y la otra en la otra célula. De esta manera, cada célula reproducida adquiere veintitrés pares de cromosomas idénticos en ambas células. Esto es lo que se esperaría que sucediera si los cromosomas llevaran dentro de ellos un plano para la estructura de la enzima.

Todos los organismos, excepto los más primitivos, desarrollan células sexuales, cuya tarea es formar nuevos organismos de un modo mucho más complicado que por la sencilla división celular. Así, los seres humanos masculinos (y la mayor parte de los demás animales complejos) producen células espermáticas, mientras que los seres humanos femeninos producen células ovulares Cuando una célula de esperma se une, o «fecunda» una célula del óvulo, la combinación resultante se divide repetidas veces hasta formar un nuevo ser con vida independiente.

Ambas células, el óvulo y el esperma, sólo contienen la mitad del número corriente de cromosomas. Cada célula de óvulo y cada célula de esperma sólo consigue uno de cada de los veintitrés pares de cromosomas. Cuando se combinan, el huevo fertilizado posee otra vez veintitrés pares de cromosomas, pero uno de cada par proviene de la madre y otro del padre. De este modo, el hijo hereda igualmente características de sus progenitores, y los cromosomas se comportan exactamente como se esperaría si llevaran el plano para la elaboración de enzimas.

Pero, ¿cuál es la naturaleza química de este supuesto plano?

Desde el momento en que el anatomista alemán Walter Flemming (1843-1905) descubrió los cromosomas, en 1879, se supuso que el plano, si existía, debía de ser una molécula compleja, y esto significaba que había de ser una proteína. Las proteínas eran las sustancias más complicadas que se conocían en el tejido, y las enzimas eran proteínas en sí mismas, según descubrió en 1926 el bioquímico americano James Batchellor Sumner (1887-1925). Seguramente sería una proteína la que sirviera de plano para la construcción de otras proteínas.

Sin embargo, en 1944 el físico canadiense Oswald Theodore Avery (1877-1955) pudo demostrar que la molécula plano no era en modo alguno una proteína, sino otro tipo de molécula llamado «ácido desoxirribonucleico», o ADN, para abreviar.

Esto constituyó una gran sorpresa, pues se creía que el ADN era una molécula simple, y de ningún modo adecuada para servir de plano a las complicadas enzimas. Sin embargo un meticuloso examen demostró que el ADN era una molécula compleja; en verdad, mucho más compleja que las proteínas.

Igual que la molécula de proteína, la molécula de ADN estaba formada por cadenas largas de un sencillo bloque constructor. En el caso del ADN, el bloque constructor fue llamado «nucleótido» y se podía construir una molécula individual de ADN con cadenas de millares de nucleótidos. Los nucleótidos consistían en cuatro diferentes variedades (no veinte, como en el caso de las proteínas), y estas cuatro variedades podían unirse en cualquier orden.

Supongamos que tomásemos tres nucleótidos de una vez. En este caso habría 64 «trinucleótidos» diferentes. Si numeráramos los nucleótidos 1, 2, 3 y 4, se podrían tener los trinucleótidos: 1-1-1, 1-2-3, 3-4-2, 4-1-4, y así sucesivamente, hasta 64 combinaciones diferentes. Uno, o más, de estos trinucleótidos podría ser equivalente a un aminoácido determinado; algunos podrían indicar «puntuación», tal como poner en marcha una cadena de aminoácidos, o ponerle fin. La transferencia de los trinucleótidos de la molécula de ADN en aminoácidos de la cadena enzimática se conoce como «código genético».

No obstante lo expuesto, plantea simplemente la dificultad a otro nivel. ¿Qué es lo que

permite que la célula construya cierta molécula de ADN que lleve a la formación de una determinada molécula de enzima, entre el innumerable número de diferentes moléculas de ADN que podrían existir?

En 1953, el bioquímico americano James Dewey Watson (1928-) y el bioquímico inglés Francis H. C. Crick (1916-) pudieron descubrir la estructura del ADN. Consistía en dos extremos enrollados en forma de hélice doble (es decir cada extremo tenía la forma de una escalera en espiral y los dos extremos estaban entrelazados). Cada extremo era opuesto al otro en cierta manera, de modo que encajaban netamente. En el proceso de la división celular, cada molécula de ADN se desenrollaba en dos extremos separados. Cada extremo entonces, formaba un segundo extremo en sí mismo, que encajaba perfectamente. Cada extremo servía como plano para su nuevo compañero y el resultado era que allí en donde originariamente existía una doble hélice, se formaban dos hélices doble, cada una de ellas réplica de la otra. El proceso era conocido como replicación. De esta manera, cuando existía una determinada molécula de ADN, se reproducía a sí misma, conservando su configuración exacta, de la célula a la célula hija, y del progenitor al hijo.

Por tanto, se deduce que cada célula de todos los organismos hasta el ser humano, tienen su forma, su estructura y su composición química (y hasta cierto punto incluso su comportamiento), determinado por la naturaleza exacta de su contenido de ADN. El óvulo fertilizado de una especie de organismo no es muy distinto de otro, pero las moléculas de ADN de cada uno de ellos son totalmente diferentes Por esta razón, un huevo humano fecundado se desarrollará en un ser humano, y un huevo fertilizado de jirafa se convertirá en una jirafa, no siendo posible ninguna confusión entre ambos.

No obstante, existe la particularidad de que la transmisión de moléculas de ADN de célula a célula-hija, y de progenitor a hijo, no es absolutamente perfecta. Los granjeros y los pastores saben por experiencia que, de vez en cuando, nacen animales o plantas que no poseen las características de los organismos progenitores. Las diferencias no suelen ser muy grandes y algunas veces no se notan demasiado. En ocasiones, la aberración es tan radical, que produce lo que se llama un *mutante o* monstruo. El término científico para designar la descendencia con características cambiadas, ya sean destacadas o imperceptibles, es «mutación» derivado de una palabra latina que significa cambio.

Por lo general, las mutaciones extremadas se veían con repugnancia y se destruían. Sin embargo en 1971, un granjero de Massachussets, llamado Serth Wright, adoptó un punto de vista más práctico de un *mutante* que se produjo en su rebaño de ovejas. Nació un corderito con patas anormalmente cortas y a aquel astuto yanqui se le ocurrió que las ovejas de patas cortas no podrían escapar saltando por encima las cercas bajas alrededor de su granja. Así que, aprovechando este accidente no del todo desafortunado, deliberadamente crió un tipo de ovejas de patas cortas. Esto hizo que la gente fijara su atención en las mutaciones. Sin embargo, en el año 1900 las mutaciones fueron estudiadas científicamente por el botánico holandés Hugo Marie de Vries (1848-1935).

La realidad era que cuando las mutaciones no eran muy pronunciadas, y, por tanto, no resultaban repelentes o espantosas, los pastores y los granjeros se acostumbraron a obtener provecho de ellas. Seleccionando de cada generación los animales que parecían más adecuados para la explotación humana: vacas que diesen mucha leche, gallinas que pusieran muchos huevos, ovejas que dieran mucha lana, y así sucesivamente, se desarrollaron características muy diferentes unas de otras y del organismo salvaje original que primero fue domesticado.

Éste es el resultado de haber elegido mutaciones pequeñas y carentes de importancia en sí mismas, que, sin embargo, como en el caso de las ovejas de patas cortas de Wright, transfirieron la mutación a sus descendientes. Escogiendo una mutación tras otra, todas en la misma dirección, se «mejoraban» las características desde el punto de vista humano. Sólo tenemos que fijarnos en las múltiples características de perros o de palomas para darnos cuenta de las posibilidades que brindan para formar y crear una especie mediante selección

cuidadosa de los acoplamientos y conservando sólo parte de la descendencia y rechazando el resto.

Lo mismo puede hacerse, y con mayor facilidad, respecto a las plantas. El horticultor americano Luther Burbank (1849-1926) obtuvo muchos éxitos en su profesión creando centenares de nuevas variedades de plantas, que consiguió mejorando las viejas en uno u otro sentido, no sólo por mutación, sino por medio de cruzamientos e injertos calculados.

Esto que los seres humanos hacen deliberadamente, las fuerzas ciegas de la selección natural lo llevan a cabo poco a poco en el transcurso del tiempo. En cada generación, el descendiente de una especie determinada varía de un individuo a otro, en parte a causa de las leves mutaciones que tienen lugar. Aquellos seres cuyas mutaciones les permiten adaptarse al juego de la vida con más eficacia, tienen mayores posibilidades de sobrevivir y traspasar las mutaciones a una descendencia más numerosa. Poco a poco, durante millones de años, se modelan nuevas especies descendientes de las antiguas, una especie sustituye a la otra, y así sucesivamente.

Éste era el núcleo esencial de la teoría de la evolución por la selección natural desarrollada, en 1858, por los naturalistas ingleses Charles Robert Darwin y Alfred Russel Wallace.

A nivel molecular, las mutaciones son el resultado de réplicas imperfectas de ADN. Pueden tener lugar de célula a célula durante el proceso de la división celular. En ese caso, dentro de un organismo puede producirse una célula que no es igual que las demás células del tejido. Esto se llama «mutación somática».

Por lo general, una mutación significa empeoramiento. Después de todo, si consideramos una complicada molécula de ADN repitiéndose a sí misma y colocando en posición un bloque constructor equivocado, no es probable que el trabajo salga mejor a causa del error. El resultado es que una célula alterada por mutación debajo de la piel, o en el hígado o en el hueso, trabajará tan débilmente que quedará incapacitada para actuar, y con toda probabilidad, no podrá multiplicarse. Las otras células normales que la rodean continuarán reproduciéndose cuando sea necesario y la ahogarán hasta extinguirla. Es así como el tejido, como un conjunto, se mantiene normal a pesar de las mutaciones ocasionales.

En casos excepcionales, la mutación afecta el proceso de crecimiento. Las células normales de un tejido crecen y se dividen solamente cuando es necesario para remplazar las células perdidas o lesionadas, pero una célula alterada puede carecer del mecanismo necesario para detener el crecimiento en el momento adecuado. Simplemente crecerá y se multiplicará de manera desordenada, sin tener en cuenta las necesidades del conjunto. El cáncer es un crecimiento anárquico, y el resultado más grave de una mutación somática.

En ocasiones, una molécula de ADN se alterará de manera que realizará mejor su labor en determinadas condiciones. Esto no sucederá a menudo, pero las células que la contienen prosperarán y sobrevivirán, de modo que la selección natural trabaja no sólo en los organismo como conjunto, sino también en los planos de ADN, y así debió de ser cómo se forman las primeras moléculas de ADN. partiendo de los simples bloques constructores por factores casuales hasta que se construyó uno capaz de repetirse y la evolución hizo el resto.

De vez en cuando, se forman células de esperma o células de óvulo con ADN repetido imperfectamente. Estas células generan descendencia alterada, por mutación. Repetimos, la mayor parte de las mutaciones significan cambios, y la descendencia alterada suele ser incapaz de desarrollarse, o muere joven, o aunque consiga vivir y tener descendencia, a su vez gradualmente son vencidos por individuos mejor dotados. Muy raras veces, una mutación significa un perfeccionamiento desde un determinado conjunto de condiciones. Esa mutación probablemente se adaptará y progresará.

Aunque las mutaciones para mejorar ocurren con mucho menos frecuencia que las mutaciones para empeorar, es la primera la que sobrevive y domina a la otra. Por esa *razón,* cualquiera que examine el curso de la evolución puede imaginar que detrás de ella hay un propósito, como si los organismos intentaran deliberadamente mejorarse.

Es difícil creer que procesos fortuitos, casuales pueden producir los resultados que contemplamos hoy día a nuestro alrededor, pero con tiempo suficiente y con un determinado sistema de selección natural que hace que millones de individuos perezcan para que algunas mejoras puedan progresar, los procesos casuales desempeñarán su labor.

La carga genética

¿Por qué las moléculas de ADN se repiten imperfectamente de vez en cuando? La replicación es un proceso fortuito. Cuando los bloques constructores de nucleótidos se alinean frente a un filamento de ADN, tan sólo el nucleótido especial adecuado debería idealmente acoplarse con el nucleótido especial que ya existe en el filamento. Por así decirlo, solo aquél debería acoplarse. Los miembros de los otros tres nucleótidos deberían abstenerse.

Sin embargo, por un movimiento a ciegas de las moléculas, un nucleótido equivocado podría tropezar con un determinado nucleótido del filamento, y, antes de que pudiera retornar, encontrarse apresado por ambos extremos por los otros nucleótidos que allí se habían acoplado con gran eficiencia. Nos encontramos entonces con un nuevo filamento de ADN que no es exactamente como debería ser, sino que se diferencia en un nucleótido, y, en consecuencia, producirá una enzima que diferirá en un aminoácido. Sin embargo, el filamento imperfecto forma un nuevo modelo para futuras replicaciones y sirve para reproducirse a sí mismo y no al gran original.

En circunstancias normales, la posibilidad de una replicación imperfecta de un determinado filamento de ADN en una ocasión determinada, está en la proporción de 1 en 50.000 a 100.000, pero existen tantos genes en los organismos vivientes y hay tantas replicaciones que la posibilidad de que ocurra una mutación de vez en cuando se convierte en certeza. Su número es muy elevado.

Por consiguiente, puede ocurrir que entre los seres humanos dos de cada cinco células de óvulo fertilizados contengan por lo menos un gen mutante. Esto significa que un 40 % aproximadamente de nosotros es mutante de un modo u otro con respecto a nuestros padres. Y dado que los genes mutantes se transmiten a los descendientes durante un determinado período de tiempo antes de desaparecer, algunos estiman que los seres humanos individuales llevan un promedio de ocho genes mutantes; en casi todos los casos, las mutaciones de genes han sido para empeorar. (El hecho de que esto no nos afecte demasiado es porque los genes van en pareja y cuando un gen es anormal el otro asume la función.)

Las posibilidades de mutación, además, no se deben exclusivamente a un azar ciego. Existen factores que influyen en esa posibilidad de una replicación imperfecta. Por ejemplo, diversos productos químicos interfieren con el suave proceso del ADN y transforman su propiedad de trabajar únicamente con los nucleótidos adecuados. Evidentemente, las posibilidades de mutación se incrementan en este caso. Puesto que la molécula de ADN es de estructura muy complicada y delicada, muchos productos químicos pueden interferir. Tales productos se llaman «mutágenos».

También las partículas subatómicas pueden producir el mismo efecto. Las moléculas de ADN se hallan en los cromosomas, los cuales, a su vez, están en el núcleo de las células, por lo que los productos químicos tienen cierta dificultad para llegar hasta ellos. Sin embargo, las partículas subatómicas irrumpen a través de las células, y, si alcanzan las moléculas de ADN, pueden eliminar átomos de su estructura y cambiarlas físicamente.

De esta manera, las moléculas de ADN pueden resultar lesionadas e incapaces de replicarse, y la célula puede perecer. Si se destruye un gran número de células esenciales, el individuo puede morir de «enfermedad de radiación».

Menos drásticamente, la célula quizá no muera, pero puede producirse una mutación. (La mutación puede desarrollar cáncer y se sabe que la radiación energética es «carcinógena», productora de cáncer, y también «mutagénica». De hecho, una implica la otra.) Como es natural, si las células del óvulo o las de esperma quedan afectadas, la descendencia presenta mutaciones, algunas veces con graves anormalidades en el nacimiento. (Esto puede ser producido también por los productos químicos mutágenos.)

El efecto mutágeno de las radiaciones fue demostrado por vez primera, en 1926, por el biólogo norteamericano Hermann Joseph Muller (1890-1967), cuando estudió las mutaciones en la mosca de la fruta, de fácil cultivo, aumentando el número de insectos al exponerlos a los rayos X.

Los efectos de las radiaciones de rayos X y radiactivas eran desconocidas para el hombre y, por tanto, no pudieron ser difundidos con anterioridad al siglo XX, pero eso no significa que no existieran formas mutantes de radiación en esa época. Durante todo el tiempo que ha existido vida en la Tierra, también hubo luz del Sol que es ligeramente mutágena a causa de los rayos ultravioleta que contiene (y, por esta causa, una explosión excesiva a la luz solar significa una mayor posibilidad de desarrollar cáncer cutáneo.)

Existen asimismo los rayos cósmicos a los que la vida ha estado expuesta todo el tiempo de su existencia. Claro está que se podría opinar (aunque haya quien no esté de acuerdo) que los rayos cósmicos, a través de las mutaciones que provocan, han sido también la fuerza motriz que ha impulsado la evolución durante los últimos miles de millones de años. Esos ocho genes mutantes por individuo, casi todos ellos destructores, son el precio que pagamos, por decirlo de alguna manera, por los pequeños beneficios de los que depende nuestro futuro.

Naturalmente, si un poco es bueno, eso no significa que un mucho es mejor. Las mutaciones más destructoras que se producen, cualquiera que sea su causa, representan un efecto degenerador en una especie determinada, ya que su resultado es producir un número de individuos de calidad inferior. Ésta es la «carga genética» para esa especie (término que introdujo, en primer lugar, H. J. Muller). Sin embargo, queda todavía un porcentaje sustancial de individuos que no son gravemente afectados por la mutación, junto a unos pocos que gozan de una mutación beneficiosa. Éstos consiguen sobrevivir y prosperar por encima de los descendientes inferiores, de modo que, en conjunto, toda una especie sobrevive y prospera a pesar de su carga genética.

No obstante, ¿qué sucedería si una carga genética se incrementara porque el promedio de mutaciones aumenta por alguna razón? Esto significaría un aumento de individuos inferiores, y un número menor de individuos normales o superiores. En estas condiciones, puede ocurrir sencillamente que no existían suficientes individuos normales o superiores que mantengan la supervivencia de la especie frente a los individuos inferiores. En resumen, el aumento de la carga genética no acelerar la evolución, como uno podría creer, sino que debilitará la especie y la llevará a la extinción. Una carga genética pequeña tiene su utilidad; una carga genética grande es perjudicial.

¿Qué es, no obstante, lo que puede provocar un aumento en el promedio de mutaciones? Los factores casuales siguen siendo casuales y la mayor parte de los factores mutágenos de los tiempos pasados, luz del sol, productos químicos, radiactividad natural, han sido más o menos constantes en su influencia. Pero, ¿y los rayos cósmicos? ¿Qué sucedería, si, por alguna causa, la intensidad de los rayos cósmicos que llegan a la Tierra aumentara? ¿Debilitaría ese hecho muchas especies, provocando gran número de muertes a causa de las cargas genéticas que son demasiado pesadas para poder sobrevivir?

Aunque estuviésemos de acuerdo en que las grandes mortandades de la historia de la Tierra tuvieran que atribuirse al desagüe de los mares sobre tierra firme, ¿no podría ser que un aumento súbito de la intensidad de los rayos cósmicos diera lugar también a una gran hecatombe? Es posible que fuera así, pero, ¿qué es lo que causaría un aumento súbito en la intensidad de los rayos cósmicos?

Una posible causa sería el aumento en la incidencia de supernovas, que son las principales fuentes de rayos cósmicos. Esto no es muy probable que suceda. Entre los miles de millones de estrellas de nuestra galaxia, la cifra total de supernovas de año en año, y de siglo en siglo, continuará siendo, probablemente, el mismo. ¿Podría suceder que cambiase la distribución de las supernovas? ¿Que, en determinadas épocas, un número desproporcionado estuviera en el otro extremo de la galaxia y en otras épocas se hallaran en número

desproporcionado en nuestro extremo?

Esto no afectaría realmente la intensidad de los rayos cósmicos tanto como creemos. Como las partículas de los rayos cósmicos siguen un curso curvilíneo, gracias al gran número de campos magnéticos de la galaxia, esas partículas muestran tendencia a embadurnar, por expresarlo así, y a esparcirse de manera uniforme por la galaxia sin importar cuáles sean sus puntos de origen específicos.

Las supernovas están formando sin cesar grandes cantidades de partículas de rayos cósmicos, y en menor número, también se forman de las estrellas corrientes gigantes, en constante aceleración y más energéticas. Si aceleran lo suficiente, salen por entero de la galaxia, y además, en gran número chocan constantemente con las estrellas y otros objetos de la galaxia. Es posible que después de 15.000 millones de años de existencia galáctica, se haya alcanzado cierto equilibrio y que desaparezcan tantas partículas de rayos cósmicos como se forman. Por esa razón, podemos creer que la intensidad de los rayos cósmicos próximos a la Tierra seguirá más o menos constante a través de los tiempos.

Sin embargo, hay una posible excepción en este estado de cosas. Si explotara una supernova en las proximidades de la Tierra, podría producirse el conflicto. He hablado ya con anterioridad de esas supernovas cercanas y he señalado que hay muy pocas probabilidades de que una de ellas nos cause problemas en un futuro predecible. A pesar de ello, me he referido únicamente a la luz y al calor que recibimos de tales objetos. ¿Qué sucedería con los rayos cósmicos que recibiríamos en ese caso, dado que la distancia entre una supernova cercana y nosotros sería demasiado corta para permitir que tales rayos se esparcieran y diseminaran por los campos magnéticos?

En 1968, los científicos norteamericanos K. D. Terry y W. H. Tucker señalaron que una supernova de buen tamaño emitiría rayos cósmicos a un promedio de un billón de veces tan intenso como el del Sol durante un espacio no inferior a una semana. Si una supernova semejante estuviera a una distancia de 16 años luz, la energía de los rayos cósmicos que llegaría hasta nosotros, incluso a esa gran distancia, sería igual a la radiación total del Sol en el mismo período de tiempo, lo cual sería suficiente para producir en cada uno de nosotros (y quizás en la mayor parte de las otras formas de vida) una enfermedad por radiación que nos mataría. El calor adicional suministrado por esa supernova y la ola de calor resultante no tendría ninguna importancia en ese caso.

Naturalmente, no existen estrellas tan cerca de nosotros capaces de convertirse en una supernova gigante, y tampoco en el pasado ha tenido lugar esa circunstancia, ni ocurrirá en el futuro hasta donde podemos predecir. Sin embargo, una supernova podría causarnos un daño considerable, aunque estuviera mucho más lejana.

En la actualidad, la intensidad de los rayos cósmicos que llegan hasta la cima de la atmósfera terrestre es de unos 0,03 *rads* por año, y se necesitaría quinientas veces esa intensidad, es decir 15 *rads* anuales para causar daños. Sin embargo, basándose en la frecuencia de las supernovas y sus tamaños y posiciones al azar, Terry y Tucker calcularon que la Tierra podía recibir una dosis concentrada de 200 *rads,* gracias a las explosiones de las supernovas, cada diez millones de años aproximadamente, y unas dosis considerablemente mayores en los correspondientes intervalos más prolongados. Durante los seiscientos millones de años desde que se inició el registro de fósiles, es razonable suponer que por lo menos un rayo de 25.000 *rads* nos haya alcanzado. Claro que esto causaría problemas, pero existen mecanismos naturales que disminuyen la efectividad del bombardeo de rayos cósmicos.

Por ejemplo, he dicho que la intensidad de los rayos cósmicos alcanza cierto nivel en la cima de la atmósfera terrestre. Lo he dicho deliberadamente, pues la atmósfera no es por completo transparente a los rayos cósmicos. A medida que los rayos cósmicos atraviesan los átomos y las moléculas que forman la atmósfera, se producen colisiones, antes o después. Los átomos y las moléculas quedan aplastadas y las partículas se esparcen como una «radiación secundaria».

La radiación secundaria es menos energética que la «radiación primaria» de las

partículas de rayos cósmicos en el espacio abierto, pero poseen todavía energía suficiente para causar mucho daño. Sin embargo, también ellas chocan con átomos y moléculas en la atmósfera terrestre, y cuando las partículas flotantes llegan finalmente a la superficie de la Tierra, la atmósfera ha absorbido una parte importante de su energía.

En resumen, la atmósfera actúa como una capa protectora, no totalmente eficiente, pero tampoco completamente ineficaz. Los astronautas en órbita alrededor de la Tierra, o en la Luna, están expuestos a un bombardeo más intenso de rayos cósmicos que nosotros, en la superficie de la Tierra, y esto es algo que ha de tenerse en cuenta.

Los astronautas que realizan viajes relativamente cortos más allá de la atmósfera pueden ser capaces de absorber la radiación adicional, pero no sucedería lo mismo en el caso de prolongadas permanencias en colonias espaciales, por ejemplo. Esas instalaciones tendrían que ser acondicionadas con paredes lo suficientemente gruesas para facilitar por lo menos una protección igual a la que proporciona la atmósfera de la Tierra contra los rayos cósmicos.

En realidad, si llega el momento en que gran parte de la Humanidad se distribuya en colonias espaciales y se considere libre de las vicisitudes solares e indiferente a la posibilidad de que el Sol se convierta primeramente en un gigante rojo y más tarde en una enana blanca, su principal preocupación podría ser el flujo creciente y decreciente de los rayos cósmicos y la posibilidad de que esto produzca una catástrofe.

Como es natural, volviendo a la Tierra, no existe ninguna razón para creer que alguna vez falle la acción protectora de la atmósfera dejándonos más expuestos al soplo de una mayor intensidad de rayos cósmicos, por lo menos, no ocurrirá mientras la atmósfera posea su estructura y composición actuales. Sin embargo, existe otro tipo de protección que la Tierra nos ofrece, más eficiente y menos durable, para explicar la cual será necesario un pequeño retroceso.

El campo magnético de la Tierra

Aproximadamente en el año 600 a. de JC, el filósofo griego Tales de Mileto empezó a realizar experimentos con minerales magnéticos naturales y descubrió que podían atraer el hierro. Por casualidad se supo que el mineral magnético calamita (imán) (que ahora sabemos es óxido de hierro) podía utilizarse para magnetizar planchas delgadas de acero que pasarían a adoptar las características de la propia calamita con más intensidad que ésta.

Durante la Edad Media se descubrió que, al colocar una aguja magnética sobre un objeto ligero, flotante, esa aguja quedaba siempre en la posición norte-sur. Por tanto, se llamó a un extremo de esa aguja polo magnético norte y al otro, polo magnético sur. Los chinos fueron los primeros en registrar ese hecho poco antes del año 1100, y aproximadamente un siglo después de que los europeos hubiesen descubierto la noción.

Mediante el empleo de la aguja magnética como una «brújula náutica», los navegantes europeos se sintieron seguros en el mar y llevaron a cabo sus grandes viajes de exploración que se iniciaron poco después del año 1400, viajes que proporcionaron a Europa el dominio del mundo durante un período de casi cinco siglos. (Los fenicios, los vikingos y los polinesios habían realizado audaces viajes por mar sin utilizar brújulas, pero a costa de grandes riesgos.)

La propiedad de la aguja magnética para señalar el norte parecía misteriosa al principio, y la explicación menos mística suponía que en el lejano norte había una montaña de mineral magnético que atraía las agujas. Naturalmente, proliferaron las historias de navíos que se aventuraban de manera peligrosa aproximándose a este enorme imán. Cuando esto sucedía, el imán atraía los clavos del navío que se deshacía y naufragaba. En *Las Mil y Una Noches* puede leerse una historia parecida.

El físico inglés William Gilbert (1544-1603) proporcionó una explicación mucho más interesante en 1600. Convirtió en una esfera un trozo de imán y estudió la dirección de la aguja de la brújula desde diferentes lugares próximos a la esfera. Descubrió que la aguja se

comportaba con respecto a la esfera magnética exactamente igual que lo hacía con respecto a la Tierra. Por tanto, sugirió que la propia Tierra era un enorme imán, con un polo magnético norte en el Ártico y un polo magnético sur en el Antártico.

El polo magnético norte fue localizado en 1831, en la costa occidental de la Península Boothia, en el extremo septentrional de América del Norte por el explorador escocés James Clark Ross (1800-1862). En aquel punto, el extremo de la aguja señalando al norte se mantenía constantemente hacia abajo. El polo magnético sur fue localizado al borde de la Antártida en 1909, por el geólogo australiano Edgeworth David (1858-1934) y el explorador británico Douglas Mawson (1882-1958).

¿Por qué es la Tierra un imán? Desde que el científico inglés Henry Cavendisch (1731-1810) midió la masa de la Tierra en 1798, se sabía que su densidad media era demasiado elevada para estar compuesta solamente de roca. Se estableció la noción de que su centro era de metal. Noción basada en el hecho de que muchos meteoritos están compuestos de hierro y níquel en una proporción de 10:1. El centro de la Tierra podría ser de una aleación parecida. La primera sugerencia partió del geólogo francés Gabriel August Daubrée (1814-1896).

Hacia finales del siglo XIX, se estudió con gran detalle el modo en que las ondas del terremoto se desplazaban a través del cuerpo terrestre. Pudo demostrarse que esas ondas que penetraban bajo la superficie a profundidades de hasta 2.900 kilómetros (1.800 millas) cambiaban bruscamente de dirección.

En 1906, se creyó que la composición química en aquel punto sufría también un brusco cambio; que las ondas habían pasado del manto rocoso al centro metálico. Ésta es la creencia actual. La Tierra tiene un centro de níquel-hierro en forma de esfera de unos 6.900 kilómetros (4.300 millas) de diámetro. Este centro constituye una sexta parte del volumen de la Tierra, y, a causa de su alta densidad, una tercera parte completa de su masa.

Es tentador suponer que este centro de hierro es un imán que justifica el comportamiento de la aguja del compás. Sin embargo, esto no es posible. En 1896, el físico francés Pierre Curie (1859-1906) demostró que una sustancia magnética pierde su magnetismo si se calienta a una temperatura adecuada. El hierro pierde sus propiedades magnéticas al «punto Curie» de 760°C. En cuanto al níquel, el punto Curie es de 356°C.

¿Hay probabilidad de que el centro de níquel-hierro sea superior al punto de Curie? Sí, puesto que determinadas ondas de terremoto nunca consiguen pasar del manto y penetrar en el centro. Son precisamente del tipo que no puede desplazarse atravesando el cuerpo de un líquido y se deduce, por tanto, que el centro tiene el calor suficiente para llegar a ser níquel-hierro líquido. Teniendo en cuenta que el punto de fusión del hierro es de 1.535°C en condiciones ordinarias y sería mayor todavía bajo las grandes presiones en el límite central, ese hecho demuestra simplemente que el centro no puede ser un imán en el sentido que lo es un pedazo de hierro corriente.

No obstante, la presencia de un centro líquido abría nuevas posibilidades. En 1820, el físico danés Hans Christian Oersted (1777-1851) demostró que era posible producir efectos magnéticos por medio de una corriente eléctrica («electromagnetismo»). Si la electricidad pasa por un cable en espiral, el resultado es un efecto magnético muy parecido al que se originaría en una barra de imán corriente que imaginásemos colocada a lo largo del eje de la espiral.

Teniendo presente esta circunstancia, el geofísico germano-americano Walter Maurice Elsasser (1904-) sugirió, en 1939, que la rotación de la Tierra podía producir remolinos en el centro líquido: remolinos lentos y enormes de la aleación níquel-hierro fundida. Los átomos están compuestos por partículas subatómicas cargadas de electricidad y, a causa de la estructura característica del átomo de hierro, semejantes remolinos en el centro líquido podían producir el efecto de una corriente eléctrica girando sin cesar.

Puesto que los remolinos se producirían por la rotación terrestre del oeste al este, aquéllos girarían también del oeste al este, y el centro de níquel-hierro actuaría entonces como

una barra de imán alineada de norte al sur.

Sin embargo, el campo magnético de la Tierra no es un fenómeno constante. Los polos magnéticos se desvían de su posición a medida que transcurren los años, y por alguna razón que ignoramos, están alejados unos 1.600 kilómetros (1.000 millas) de los polos geográficos. Además, los polos magnéticos no se encuentran exactamente en lados opuestos de la Tierra. Si se *trazara* una línea desde el polo magnético norte hasta el polo magnético sur, ésta pasaría a unos 1.100 kilómetros (680 millas) a un lado del centro de la Tierra. También el campo magnético varía en intensidad de un año a otro.

Teniendo en cuenta todo esto, podríamos preguntarnos qué habrá sucedido con el campo magnético en el lejano pasado y qué podría suceder en el lejano futuro. Por suerte, hay un medio de averiguarlo... por lo menos en cuanto se refiere al pasado.

Entre los componentes de lava que la acción volcánica arroja, existen diversos minerales ligeramente magnéticos. Las moléculas de estos minerales muestran tendencia a orientarse a lo largo de las líneas magnéticas de fuerza. Aunque los minerales se presenten en forma líquida, esta tendencia es vencida por el movimiento casual de las moléculas en respuesta a la elevada temperatura. A medida que la roca volcánica se va enfriando lentamente, el movimiento casual de las moléculas también disminuye, y, probablemente, las moléculas se orientan en dirección norte y sur. A medida que la roca se solidifica, esa orientación queda apresada en el lugar. Así sucede con una molécula tras otra, y, finalmente, quedan cristales enteros en los que podemos descubrir los polos magnéticos, el polo norte señalando hacia el norte, y el polo sur hacia el sur, igual que sucede en una brújula magnética. (Se puede identificar el polo norte de un cristal, o de cualquier imán, por ser el que repele el polo norte en la aguja de una brújula.)

En 1906, el físico francés Bernard Brunhes observó que algunos cristales volcánicos de roca estaban imantados en dirección opuesta a la normal. Sus polos norte magnéticos (según se identifican por una aguja de brújula) señalaban al sur. Desde que Brunhes realizó su original descubrimiento, se han estado estudiando muchas rocas volcánicas y se ha observado que, aunque en muchos casos los cristales apuntan normalmente al norte, con sus polos magnéticos norte, en otros casos los cristales señalan el sur con sus polos magnéticos norte. Al parecer, el campo magnético de la Tierra gira periódicamente.

Al calcular la edad de las rocas en estudio (por diversos métodos bien establecidos), se ha descubierto que durante los últimos 700.000 años el campo magnético ha permanecido en su presente dirección, la que podríamos llamar «normal». Con anterioridad, y aproximadamente durante un período de un millón de años, estuvo en posición «al revés» casi en todas las épocas, excepto durante dos períodos de 100.000 años en que permaneció normal.

En general, durante los últimos setenta y seis millones de años, se han identificado más de ciento setenta y una reversiones del campo magnético. El promedio del período de tiempo entre las reversiones es aproximadamente de cuatrocientos cincuenta mil años, y los dos alineamientos posibles, el normal y el revertido, ocupan, a la larga, un período de tiempo de igual longitud. Sin embargo, la longitud del tiempo entre reversiones varía grandemente. El mayor lapso de tiempo registrado entre reversiones es de tres millones de años, y el más corto, de cincuenta mil años.

¿Cómo se realiza esta reversión? ¿Es que los polos magnéticos de la Tierra, con su conocido movimiento por la superficie, recorrerán todo el camino, el uno desde el Ártico hasta el Antartico, y el otro, en sentido opuesto? No parece probable. Si eso sucediera, en algún período intermedio entre las reversiones, los polos hubieran estado en las regiones ecuatoriales, En ese caso habría algunos cristales orientados más o menos al este-oeste, y no hay ninguno.

Lo que parece ser más probable es que la variación está en la intensidad del campo magnético de la Tierra, en aumento y en disminución. Algunas veces disminuye hasta cero, y aumenta entonces, pero en la otra dirección. Con el tiempo, disminuye de nuevo hasta cero y comienza a aumentar en la dirección original y así sucesivamente.

De alguna manera, esto es semejante a lo que sucede en el ciclo de las manchas solares. Las manchas crecen en número, disminuyen después, y aumentan de nuevo en dirección inversa a su campo magnético. A continuación disminuyen y comienzan a aumentar otra vez en la dirección original. Del mismo modo que el punto máximo de las manchas solares está alternativamente en estado normal y revertido, el máximo del campo magnético de la Tierra se halla alternativamente en estado normal y revertido. Con la diferencia de que las variaciones de intensidad del campo magnético de la Tierra son mucho menos regulares que el ciclo de las manchas solares.

La causa probable de la variación en la intensidad del campo magnético de la Tierra, y la reversión de su dirección, pueden ser las variaciones de velocidad y dirección de la materia arremolinada en el centro líquido de la Tierra. En otras palabras, el centro líquido se arremolina en una dirección, cada vez más aprisa, y disminuye luego cada vez más, se detiene brevemente, y comienza el torbellino en la otra dirección, cada vez más aprisa, después más despacio cada vez, se detiene brevemente, comienza en la otra dirección, y así sucesivamente. El porqué del cambio de dirección del remolino y la velocidad, y el motivo de la irregularidad, continúa siendo desconocido todavía. Sin embargo, sabemos el modo en que el campo magnético de la Tierra afecta el bombardeo de los rayos cósmicos.

En 1820, el científico inglés, Michael Faraday (1791-1867) dio a conocer el concepto de «líneas de fuerza». Se trata de líneas imaginarias que trazan un camino curvo desde el polo norte magnético de cualquier objeto hasta el polo sur magnético, marcando su recorrido con un campo magnético, de valor constante.

Una partícula magnetizada puede moverse libremente a lo largo de las líneas de fuerza. Para cruzar esas líneas de fuerza, se requiere energía.

El campo magnético de la Tierra rodea la Tierra con líneas de fuerza magnéticas que conectan sus polos magnéticos. Cualquier partícula cargada eléctricamente del espacio exterior ha de atravesar estas líneas de fuerza para alcanzar la superficie de la Tierra y al hacerlo pierde energía. Si posee poca cantidad de energía, puede perderla por completo y quedar incapacitada para cruzar las líneas de fuerza adicionales. En ese caso, sólo puede moverse a lo largo de una línea de fuerza, dando vueltas a su alrededor apretadamente y pasando del polo norte magnético al polo sur magnético de la Tierra, y retroceder después, una y otra vez.

Así sucede con muchas de las partículas del viento solar, de modo que existe siempre un gran número de partículas cargadas viajando a lo largo de las líneas de fuerza magnéticas de la Tierra, estableciendo lo que se conoce como «magnetosfera» mucho más allá de la atmósfera.

En el punto en donde las líneas de fuerza magnética se unen en los dos polos magnéticos, las partículas que siguen esas líneas en su descenso a la superficie de la Tierra alcanzan las capas altas de la atmósfera y chocan con átomos y moléculas, desprendiendo energía en el proceso y produciendo las auroras, esa bella característica de los cielos polares durante la noche.

Las partículas especialmente energéticas pueden recorrer toda la línea de fuerza magnética de la Tierra y dar contra la superficie terrestre, con una energía mucho menor a la poseída cuando comenzaron su recorrido. Además, se han separado hacia el norte y el sur, y cuanta menor energía poseen tanto más lejos se separan.

Los rayos cósmicos poseen energía suficiente para abrirse camino hasta la superficie de la Tierra, aunque se debilitan en el proceso y también se separan, de modo que hay un «efecto de latitud». Los rayos cósmicos llegan a la Tierra con menor intensidad en las proximidades del Ecuador, y se hacen más intensos a medida que se alejan del Ecuador dirigiéndose al norte y al sur.

Puesto que la densidad de la vida terrestre disminuye a medida que se acerca al norte y al sur de los trópicos (la vida marina está algo protegida por el espesor de agua) el resultado es, precisamente, que no sólo los rayos cósmicos quedan debilitados por el campo magnético,

sino que se desvían de las regiones en donde hay mucha a aquellas otras regiones en donde la vida es escasa.

Aunque las concentraciones de rayos cósmicos de los polos magnéticos, allí donde son más intensos, no interfieren con la vida, a la larga el carácter mutágeno que los rayos cósmicos ejercen sobre la vida en general, disminuyen con la existencia del campo magnético terrestre.

A medida que disminuye la intensidad del campo magnético de la Tierra, este efecto de protección contra los rayos cósmicos se debilita. Durante las épocas en que el campo magnético terrestre sufre una reversión, la Tierra no posee un campo magnético eficaz y el influjo de los rayos cósmicos no se desvía en absoluto. Las zonas tropicales y templadas, en donde existe la mayor parte de vida terrestre (incluyendo la vida humana), están sujetas a una mayor intensidad de los rayos cósmicos durante esos períodos.

¿Qué sucedería si una supernova estallara en las proximidades durante ese período de reversión del campo magnético? Sus efectos serían en ese caso mucho más importantes que cuando la Tierra presenta un campo magnético intenso. ¿Sería posible que una o más de las grandes mortandades ocurriera durante ese período, cuando una supernova próxima explotara mientras había reversión en el campo magnético?

Eso no es probable, puesto que las supernovas ocurren muy raramente, al igual que las reversiones del campo magnético. Por tanto, existen muchas menos probabilidades de que dos fenómenos que raramente ocurren solos, se produjeran en un mismo momento por coincidencia.

Sin embargo, la coincidencia *podría* presentarse. Si así fuese, ¿cuál sería el futuro?

El campo magnético de la Tierra parece haber perdido aproximadamente un 15 % de la potencia que poseía en 1670, cuando se realizaron las primeras medidas dignas de confianza, y, continuando en el promedio actual de disminución, llegará a cero en el año 4000 d. de JC. Aunque no existiera un aumento general en las partículas de los rayos cósmicos por la explosión de una supernova próxima, en el año 4000 las grandes concentraciones humanas habrán duplicado las actuales y, como resultado, la carga genética de la Humanidad podría aumentar de manera notable.

Es probable que esto no sea grave, a menos que una supernova próxima también estalle, y eso no es posible, puesto que la supernova más probable y más cercana en el año 4000 es Betelgeuse, y no está lo bastante cerca para causar preocupación, incluso careciendo de un campo magnético.

Naturalmente, la coincidencia puede tener lugar en un lejano futuro, pero ni una supernova cercana ni la reversión de un campo magnético pueden sorprendernos. Ambas advierten con tiempo de sobra para improvisar alguna protección contra las breves ráfagas de rayos cósmicos.

Sin embargo, ésta es una catástrofe potencial, que (repito) podría afectar mucho más peligrosamente a las colonias espaciales que a la propia Tierra.

CUARTA PARTE

CATÁSTROFES DE CUARTA CLASE

Capítulo XII

LA LUCHA POR LA VIDA

Grandes animales

Detengámonos un momento para resumir.

Entre las catástrofes de tercera clase que hemos examinado, catástrofes en las que la Tierra como un todo deteriora su habitabilidad, el único acontecimiento realmente desfavorable sería una era glacial, o, a la inversa, una fusión de las capas de hielo actuales. En cualquier de los casos, si esto ocurre en el curso normal de la Naturaleza, tendrá lugar muy lentamente, y tardará algunos miles de años, lo que permitirá que sea soportado, o, más probablemente, controlado.

En ese caso, la Humanidad quizá podría sobrevivir el tiempo suficiente para experimentar una catástrofe de segunda clase, motivada por cambios en el Sol que hicieran imposible la vida en la Tierra. El único caso probable es que el Sol se convierta en un gigante rojo, dentro de algunos billones de años, y eso, aunque probablemente no pueda controlarse, sí puede ser evitado.

En tal caso, la Humanidad quizá podría sobrevivir el tiempo suficiente para experimentar una catástrofe de primera clase, que hiciera inhabitable el universo como conjunto. En mi opinión, el acontecimiento más probable en ese caso sería la formación de un nuevo «huevo cósmico». Esto, al parecer, no se puede ni controlar ni evitar, representaría el fin absoluto de la vida, pero no sucederá, quizás, en un billón de años, y quién sabe de lo que será capaz la tecnología para entonces.

Sin embargo, no podemos considerarnos seguros, ni para llegar a sobrevivir la próxima era glacial, pues existen peligros más inmediatos, que nos amenazan aunque el Universo, el Sol y la Tierra continúen tan sonrientes y benevolentes como se muestran hoy día.

En otras palabras, hemos de examinar ahora las catástrofes de cuarta clase, aquellas que amenazan la existencia de la vida humana en la Tierra específicamente, aunque la vida en general continué en el planeta como antes.

¿Qué es lo que puede poner fin a la vida humana, mientras la vida en general siga existiendo?

Para comenzar, los seres humanos forman una única especie de organismo y la extinción es el destino común de las especies. Por lo menos, un 90 % de todas las especies que existieron se han extinguido, y entre las que sobreviven todavía, una gran parte ya no son tan numerosas ni florecientes como lo fueron en épocas anteriores. Un buen número, de hecho, está al borde de la extinción.

La extinción puede ser el resultado de cambios ambientales que destruyen aquellas especies, que por una u otra razón, no pueden sobrevivir a esos cambios. Hemos examinado algunos tipos de cambios ambientales y examinaremos algunos más. Sin embargo, la extinción también puede ser causada por la rivalidad directa entre especies y por la victoria de una especie o grupo sobre otra. De este modo, en la mayor parte del mundo, los mamíferos placentarios han sobrevivido y sustituido a los marsupiales y monotremas luchando por la vida en un mismo ambiente. Únicamente Australia ha conservado una próspera variedad de marsupiales e incluso un par de monotremas, porque se separó de Asia antes del desarrollo de los placentarios.

¿Por consiguiente, existen posibilidades de que alguna otra forma de vida pueda eliminar nuestra existencia de algún modo? Nosotros no somos las únicas formas de vida en el mundo. Existen unas 350.000 especies conocidas distintas de plantas, y quizá 900.000 diferentes especies de animales. Podría haber todavía otro millón, o dos más, de especies

existentes y que no han sido descubiertas todavía. ¿Representará alguna de estas otras especies un grave peligro para nosotros?

En la historia primitiva de los homínidos, abundaban los peligros de este tipo. Nuestros antepasados homínidos, cubiertos únicamente con su propia piel y como únicas armas las diversas partes de sus cuerpos, no podrían competir con los grandes depredadores, ni tan siquiera con los grandes herbívoros.

Los primeros homínidos debieron de recoger alimentos saqueando las posesiones del inactivo mundo vegetal, y quizás ocasionalmente, impulsados por el hambre, se alimentarían de los animales pequeños que tuvieran la suerte de poder cazar, algo parecido a lo que ocurre hoy día con los chimpancés. Y con respecto a los otros seres del tamaño humano, o mayores, el único recurso para aquellos hombres primitivos era huir o esconderse.

Sin embargo, ya en sus primeros tiempos los homínidos aprendieron a utilizar herramientas. La mano de ese hombre primitivo está bien diseñada para sostener un hueso de cadera o una rama de árbol, y así armado el homínido podía enfrentarse a las pezuñas, las garras y los colmillos con un poco más de seguridad. A medida que evolucionaron los homínidos con un cerebro más desarrollado, y al aprender a construir hachas de piedra y lanzas con la punta de piedra, la balanza comenzó a inclinarse en su favor. El hacha de piedra era mejor que una pezuña; la lanza con punta de piedra mejor que una garra o un colmillo.

Cuando apareció el *Homo sapiens y* agrupándose con otros de su especie se dedicaron a la caza juntos, pudieron (naturalmente, dentro de ciertos riesgos) derribar grandes animales. Durante la última era glacial, los seres humanos eran perfectamente capaces de cazar mamuts. En verdad, quizá fue la caza de los seres humanos lo que puede haber provocado la extinción del mamut (y de otros grandes animales del mismo período).

Además, el descubrimiento del fuego proporcionó un arma y una defensa a los seres humanos que ninguna otra especie viviente podía ni duplicar ni tan sólo protegerse de ella, pues los hombres, amparados en ese elemento, estaban a salvo de los depredadores, ya que los otros animales, aunque fuesen grandes y poderosos, evitaban cuidadosamente el fuego. En esencia, en el momento en que empezó la civilización, los grandes depredadores habían sido derrotados.

Ni que decir tiene, que los seres humanos, no obstante, continuaban indefensos si les atrapaba un león, un oso o algún otro carnívoro de gran tamaño, e incluso un herbívoro irritado, como un bisonte o un toro salvaje. Sin embargo, éstos podía esperar cornadas bastante graves para un ser humano individualmente.

Sin ninguna duda, incluso en la aurora de la civilización si los seres humanos estaban decididos a librar una zona de cierto animal peligroso, podían hacerlo, siempre, aunque esto significara algunas victimas. Y lo que es más, los seres humanos, armados adecuadamente decididos a matar animales por deporte, o a capturarlos para exhibirlos, siempre pudieron hacerlo, aunque, repito, con posibles víctimas.

Todavía hoy, se producen algunas derrotas individuales, pero nadie es capaz de imaginar que los seres humanos, considerados como especie, estén amenazados por cualquiera de los grandes animales que ahora existen, ni tan siquiera de todos ellos juntos. En realidad, la situación es a la inversa. La Humanidad puede, con un pequeño esfuerzo, extinguir todos los animales del mundo, y la verdad es que ha de hacer un esfuerzo deliberado (algunas veces casi desesperado) para que *no* ocurra. Cuando la batalla se ha decidido es casi como si los seres humanos lamentaran la pérdida de un ilustre enemigo.

En tiempos antiguos, cuando la victoria ya estaba asegurada, quedaban unos vagos recuerdos, quizá, de una época en que los animales eran más peligrosos, más amenazadores, más implacables, y la vida, por tanto, resultaba más llena de emociones. Naturalmente, ninguno de los animales conocidos podía entrar en ese cuadro de peligroso y amenazador ante los esfuerzos combinados de la Humanidad, así que se imaginaron otros animales. Algunos de ellos eran terribles, simplemente por su tamaño. En la Biblia uno puede leer sobre el «behemoth» que Parece haber sido el elefante o el hipopótamo, pero que a través de la leyenda

alcanza unas enormes dimensiones que ningún animal podía tener realmente. Leemos también sobre el «leviatán», inspirado seguramente en el cocodrilo o la ballena, ampliado asimismo a un enorme tamaño.

Incluso los gigantes con forma humana son mencionados en la Biblia, y abundan en las leyendas y el folklore. Así, tenemos a Polifemo, el gigante cíclope de un ojo en la *Odisea,* y a los gigantes que amenazaron a los muchachos con su *Fee fi fo fum* de las historias populares inglesas.

Si el tamaño no alcanza, se concede entonces a los animales unos mortíferos poderes superiores a los que poseen en realidad. El cocodrilo tiene alas y respira fuego, convirtiéndose en el temido dragón. Las serpientes que ciertamente pueden matar con su mordedura, fueron adaptadas a matar sólo con su bufido o incluso con una mirada y se convirtieron en basiliscos o animales monstruosos. El pulpo puede haber inspirado las historias de la hidra de nueve cabezas (que Hércules mató) o a Escila de cabezas múltiples (frente a la que Ulises perdió seis hombres), o Medusa, con su cabello de serpientes vivas que convertía a la gente en piedra cuando la miraban (y que Perseo mató).

También había seres mixtos de persona y animal. Los centauros, con la cabeza y el torso de hombre unido a un cuerpo de caballo (inspirado, a lo mejor, por sencillos granjeros al contemplar por vez primera a los jinetes). Esfinges, cuyas cabezas y torsos femeninos estaban unidos al cuerpo de leones; grifones, combinación de águila y león; quimeras, combinación de león, cabra y serpiente. Y otras criaturas más benignas: caballos alados, unicornios, etc.

Lo que todos ellos tenían en común es que nunca habían existido; y aunque hubieran existido, nunca hubiesen podido enfrentarse al *Homo sapiens.* En las leyendas, realmente, nunca lo hicieron, pues, al final, el caballero mataba invariablemente al dragón. Y aunque los gigantes humanos hubiesen existido y fuesen tan primitivos y faltos de inteligencia como suelen describirse, no habrían representado ningún peligro para nosotros.

Animales pequeños

De hecho, los mamíferos pequeños pueden resultar más peligrosos que los grandes. Un mamífero pequeño, individualmente no hay duda de que no presenta tanto peligro como uno mayor, por razones evidentes. El pequeño tiene menos energía, se le puede matar más fácilmente, y es menos poderoso en su contraataque.

Sin embargo, los mamíferos pequeños no suelen defenderse, sino que huyen. Y a causa de su pequeñez se esconden más fácilmente, se deslizan en grietas y escondrijos en los que nadie les ve y de los que no se les puede sacar fácilmente. A menos que se les cace como alimento, su propio tamaño les hace disminuir en importancia y la caza se abandona pronto.

Además un mamífero pequeño no ejerce influencia como individuo.

Los organismos pequeños suelen vivir menos tiempo que los mayores, pero una vida rápida significa llegar antes a la madurez sexual y a la procreación. Teniendo en cuenta, además, que se requiere mucho menos energía para producir un mamífero pequeño que uno grande, el tiempo de gestación es más corto y, en cambio, el número de crías que nacen cada vez es mucho mayor que el de los mamíferos grandes.

Un ser humano no es maduro sexualmente hasta los trece años aproximadamente; el tiempo de gestación es de nueve meses, y si una mujer tuviera diez hijos durante su vida, este promedio ya sería alto. Si una pareja humana tuviera diez hijos que se casaran y a su vez tuvieran diez hijos, y todos ellos se casaran y tuvieran diez hijos más, en tres generaciones la cifra total de descendientes de la pareja original sería de 1.110.

Por otra parte, una rata común es sexualmente madura de las ocho a las doce semanas de edad. Puede reproducirse de tres a cinco veces por año, con camadas de cuatro a doce crías. La rata común vive únicamente unos tres años, pero en ese período de vida puede producir fácilmente sesenta crías. Si cada una de ellas produce a su vez sesenta ratas más, y cada una

de éstas sesenta también, en tres generaciones se producirán un total de 219.660 ratas en nueve años.

Si esas ratas continúan multiplicándose por un período normal de una vida humana de setenta años, el número total de ratas de la última generación solamente sería de 5.000.000.000.000.000.000.000.000. 000.000.000.000.000.000 que pesarían aproximadamente un millón de billones de veces el peso de la Tierra.

Naturalmente, todas no sobreviven, y el hecho de que muy pocas ratas viven lo suficiente para reproducirse en su potencial total no es precisamente un despilfarro en el gran esquema de las cosas, pues las ratas forman parte esencial de la alimentación de criaturas mayores.

Sin embargo, esta «fecundidad», esta capacidad para producir muchas crías con gran rapidez significa que la rata individual no es más que una cifra y que la matanza de ratas no tiene virtualmente efecto alguno. Aunque casi todas las ratas mueren a causa de campañas organizadas contra el animal, las que quedan compensan los déficit numéricos con una rapidez descorazonadora. De hecho, cuanto más pequeño es el organismo, tanto menos importante y efectivo es el individuo y tanto más casi inmortal y potencialmente peligrosa la especie.

Además, la presencia de la fecundidad acelera el proceso de la evolución. Si en una generación la mayor parte de las ratas quedan afectadas adversamente por un veneno determinado, o se hacen vulnerables por cierto curso automático de comportamiento, siempre quedan algunas anormalmente resistentes al veneno como resultado de una mutación casual y afortunada, o que por accidente, actúen de modo que resulten menos vulnerables. Si estas ratas resistentes, menos vulnerables, sobreviven y tienen descendencia, es posible que dicha descendencia herede la resistencia y la invulnerabilidad comparativa. Por tanto, al cabo de poco tiempo, resultará ineficaz cualquier estrategia que se utilice para reducir la población ratonil.

Esto parece dar motivo para creer que las ratas poseen una inteligencia maligna, pero, a pesar de que son realmente inteligentes teniendo en cuenta su pequeñez, no son *tan* inteligentes. No es con el individuo con el que estamos luchando, sino con la especie, fecunda y en evolución.

De hecho, es razonable suponer que si existe una característica en las cosas vivientes que más contribuye a la supervivencia de las especies, y, por tanto, a su desarrollo y prosperidad, esa característica es la fecundidad.

Estamos acostumbrados a creer que la inteligencia es el fin perseguido por la evolución, juzgando desde nuestro punto de vista, pero es dudoso si colocada la inteligencia a expensas de la fecundidad no sea ésta la que a la larga salga victoriosa. Los seres humanos han destruido virtualmente a muchas de las especies mayores que no son especialmente fecundas, pero no han conseguido mermar la población de las ratas.

Otra característica de gran valor para la supervivencia es la habilidad de desarrollarse a base de una gran variedad de alimentos. Un animal que sólo se alimente de un determinado producto poseerá un metabolismo y un sistema digestivo sumamente ajustados. No sufrirá problemas de nutrición mientras disponga en abundancia de su tipo de alimento determinado. Así, por ejemplo, el koala australiano, que sólo se alimenta de hojas de eucalipto, está a sus anchas mientras permanece en uno de esos árboles. Sin embargo, una dieta limitada le coloca a merced de las circunstancias. Allí donde no existen eucaliptos, tampoco existen los koalas (excepto en los zoológicos, artificialmente). Si todos los eucaliptos desaparecieran, sucedería lo mismo con los koalas, incluso los de los Zoológicos.

Por otro lado, un animal con una dieta variada está en condiciones de afrontar la adversidad. La pérdida de un artículo delicioso sólo significa que habrá de conformarse sin él, pero puede sobrevivir al hecho. Una de las razones de la prosperidad de la especie humana, superior a la de otras especies de primates, es que el *Homo sapiens* es omnívoro y lo come casi todo mientras que los restantes primates en su mayor parte son herbívoros (el gorila, por

ejemplo, lo es completamente).

Por desgracia para nosotros, la rata asimismo es omnívora, y cualquiera que sea la variedad de alimento que los seres humanos introduzcan en su dieta, también para la rata será satisfactoria. Por tanto, allí donde va el ser humano, la rata le acompaña. Si tuviéramos que preguntarnos cuál es el mamífero que hoy día representa una amenaza para nosotros, no podríamos responder que es el león o el elefante, los cuales podríamos eliminar a nuestro antojo hasta el último ejemplar. Nuestra respuesta sería la rata común.

No obstante, aunque las ratas sean más peligrosas que los leones, y, si, en esa línea, los estorninos son más peligrosos que las águilas, lo peor que puede representar para la Humanidad es que la lucha contra los mamíferos pequeños y los pájaros está en empate actualmente. Ellos, y otros organismos como ellos, son molestos e irritantes, y es difícil mantenerlos a raya sin grandes molestias. Sin embargo, no existe el peligro real de que puedan destruir la Humanidad a menos que, de alguna manera, surja un impedimento inesperado.

Pero existen organismos más peligrosos que las ratas o cualquier otro vertebrado. Si las ratas son difíciles de vencer, a causa de su pequeño tamaño y por su fecundidad, ¿qué sucederá con otros organismos de menor tamaño todavía y más fecundos aún? Nos referimos a los insectos.

De todos los organismos multicelulares, los insectos son los seres que alcanzan un lugar más elevado desde el punto de vista del número de especies. Los insectos tienen una vida tan corta y su fecundidad es tan alta, que su promedio de evolución es sencillamente explosivo y en la actualidad existen unas 700.000 especies de insectos conocidos en comparación con las 200.000 especies de animales de todo tipo reunidas.

Teniendo en cuenta, además, que la lista de las especies de insectos no está completa ni mucho menos. Cada año son descubiertas de 6.000 a 7.000 nuevas especies de insectos, y es muy posible que, en conjunto, existan hasta tres millones de especies diferentes.

En cuanto a la cifra de insectos individuales, resulta increíble. Tan sólo en unas 40 áreas de tierra húmeda puede haber hasta cuatro millones de insectos de centenares de especies distintas. Pueden existir en este momento en el mundo miles de billones de insectos vivos. Unos doscientos cincuenta millones de insectos para cada hombre, mujer y niño que habitan la Tierra.

El peso total de la vida de los insectos en el planeta es mayor que el peso total de toda la restante vida animal reunida en una sola cantidad.

Casi todas las especies diferentes de insectos son inofensivas para el hombre. Cuanto más, unas 3.000 especies, de los tres millones posibles, representan una molestia. Entre éstas, se hallan los insectos que viven de nosotros, de nuestra comida o de otras cosas que nosotros valoramos: moscas, pulgas, piojos, avispas, avispones, gorgojos, cucarachas, termitas, etc.

Algunos de ellos son algo más que una molestia. En la India, por ejemplo, hay un insecto llamado mariquita roja del algodón, que vive de la planta de algodón. Cada año, este insecto destruye la mitad de toda la cosecha de algodón. En los Estados Unidos es el gorgojo el que se alimenta de la planta de algodón. Nuestra lucha contra el gorgojo es más eficaz que la de los hindúes contra su mariquita del algodón. A pesar de ello, como resultado de los daños causados por el gorgojo, cada libra de algodón producida en los Estados Unidos cuesta diez centavos más de lo que costaría si no existiera el gorgojo. Los resultados de la pérdidas a causa de los perjuicios causados por los insectos en las cosechas de los cultivos del hombre y en las propiedades, únicamente en los Estados Unidos, alcanza la cifra anual de unos ocho mil millones de dólares.

Las armas tradicionales que los seres humanos primitivos desarrollaron, tenían como objetivo los grandes animales a quienes más temía el hombre. A medida que el objetivo disminuye, esas armas crecen en ineficacia. Las lanzas y las flechas, excelentes para cazar el venado, alcanzan un valor marginal contra los conejos o las ratas. Y emplear una lanza o una flecha contra una langosta o un mosquito resulta tan ridículo que probablemente ningún hombre en su sano juicio lo haya hecho nunca.

La invención de cañones y pistolas no mejoró esa situación. Ni las armas nucleares consiguen matar animales pequeños con tanta facilidad y tan decisivamente como mata a la propia Humanidad.

Por tanto, para comenzar contra los animales pequeños se utilizaron sus enemigos biológicos. Los perros, los gatos y las comadrejas i fueron utilizadas para capturar y destruir ratas y ratones. Los pequeños carnívoros son más eficientes para seguir a los roedores hasta sus escondrijos, y puesto que a esos pequeños carnívoros les impulsa mucho más el estímulo de su comida que la simple destrucción de un animal dañino, su persecución es más sincera y ansiosa que lo sería la de un ser humano.

Los gatos en especial seguramente fueron domesticados en el antiguo Egipto teniendo en cuenta mucho más su habilidad para cazar pequeños roedores que sus cualidades como compañeros (que son las que cuentan en la actualidad). Al domesticarlos, los egipcios eligieron entre ellos y la destrucción de su suministro de granos. Se trataba o de gatos o de morir de hambre, y no es de extrañar que los elevaran a categoría divina y consideraran una ofensa capital el matar uno de esos felinos.

También los insectos tienen sus enemigos biológicos. Los pájaros, los mamíferos pequeños y los reptiles se alimentan de insectos. Incluso algunos insectos se comen a otros. Escogiendo adecuadamente, al depredador, el tiempo y las condiciones, se puede recorrer un largo camino en el control de una determinada plaga de insectos.

No obstante, el uso de semejantes armas biológicas no estaba al alcance de las antiguas civilizaciones y no era posible encontrar el equivalente del gato respecto a los insectos. De hecho, no existió en absoluto ningún método útil para el control de los insectos hasta hace un siglo, cuando empezaron a utilizarse los pulverizadores de productos tóxicos.

En 1877, se utilizaron compuestos de cobre, plomo y arsénico para luchar contra el insecto enemigo. Un insecticida muy corriente era el «verde París», el cardenillo, razonablemente eficaz. El «verde París» no afectaba las plantas pulverizadas con el producto. Las plantas se alimentaban de materias inorgánicas del aire y la tierra, recibiendo su energía de la luz del sol. Los pequeños cristales minerales en sus hojas no estorbaban el proceso. Sin embargo, cualquier insecto que intentaba comer la hoja, moría sin remedio.

Semejantes «insecticidas» minerales presentan sus inconvenientes (1). Por un lado, son tóxicos también para otros tipos de vida animal, incluyendo la vida humana. Además, estos tóxicos minerales son persistentes. La lluvia arrastra algo del mineral y el suelo queda impregnado. Poco a poco se acumulan cobre, arsénico y otros elementos en el suelo, que finalmente llegan hasta las raíces de las plantas. De esa manera perjudican a la planta y el suelo se envenena gradualmente.

Además, esos minerales no pueden utilizarse en los seres humanos y, por tanto, son ineficaces contra los insectos que hacen su presa del ser humano.

Naturalmente, hubo intentos para descubrir productos químicos que sólo perjudicaran a los insectos y no se acumularan en el suelo. En 1935, un químico suizo, Paul Müller (1891-1965), comenzó sus investigaciones al efecto. Buscaba un producto químico de bajo coste, sin olor e inofensivo para la vida ajena a los insectos. Investigó entre los compuestos orgánicos, compuestos de carbono relacionados con los hallados en el tejido vivo, esperando hallar uno que no fuese tan persistente en el suelo como los compuestos minerales. En setiembre de 1939, Müller encontró el «diclorodifeniltricloretano», cuya abreviatura común es DDT. Este compuesto fue preparado y descrito en principio, en 1874, pero durante sesenta y cinco años sus propiedades insecticidas habían permanecido desconocidas.

Se descubrieron muchos otros pesticidas orgánicos y la guerra humana contra los insectos emprendió un giro sumamente favorable.

Aunque, no por completo. Había que contar con las facultades de los insectos para cambiar y evolucionar. Si los insecticidas sólo mataban a todos los insectos menos un grupo reducido que resultaba relativamente inmune al DDT o a otros productos químicos semejantes, estos supervivientes se multiplicaban rápidamente creando una descendencia

inmune. Si los mismos insecticidas habían matado también, e incluso con más eficiencia a otros insectos rivales o depredadores, la nueva descendencia resistente de los insectos atacados originariamente, durante algún tiempo se desarrollaría en mayor número y grado que antes de que se utilizara el insecticida. Para poder controlarlos, había que aumentar la concentración de insecticida y usar nuevas fórmulas.

Cuando el uso de los insecticidas se amplió y aumentó, cada vez de manera más indiscriminada, y en concentraciones cada vez más elevadas, surgieron otros inconvenientes. Los insecticidas podían ser relativamente inofensivos para otras formas de vida, pero no por completo. No se destruían con facilidad dentro del cuerpo animal, y los animales que se alimentaban de plantas tratadas con los insecticidas almacenaban los productos químicos en sus reservas de grasa y los transmitían a los otros animales de los que servían de alimento. Los insecticidas acumulados podían perjudicar. Como ejemplo, interfirieron en el mecanismo productor de la cáscara de huevo de algunos pájaros, reduciendo drásticamente la cifra de nacimientos.

La biólogo norteamericana Rachel Louise Carson (1907-1964) publicó, en 1962, *Silent Spring* (1), un libro que ponía de relieve los peligros del uso indiscriminado de pesticidas orgánicos. Desde entonces se han desarrollado nuevos métodos; pesticidas con menor toxicidad; el uso de enemigos biológicos; la esterilización de los insectos macho por la radiación; el empleo de hormonas de insectos para impedir la fertilización o la madurez de los insectos.

En general, la batalla contra los insectos continúa con bastante eficacia. No hay signos de que los seres humanos la estén ganando en el sentido de que las plagas de insectos puedan eliminarse totalmente, pero tampoco se está perdiendo. Como en el caso de las ratas, la lucha está en empate, pero no hay señales de que Humanidad haya de temer una derrota desastrosa. A menos que la especie humana se debilite muchísimo, por otras razones, no es probable que los insectos contra los que estamos luchando, logren destruirnos.

Enfermedades infecciosas

La habilidad de esos insectos nocivos, fecundos y pequeños, para propagar algunos tipos de enfermedades infecciosas (1) representa un peligro todavía mayor para la Humanidad que el daño causado por ellos en los seres humanos, su comida y sus posesiones.

Cada organismo vivo está expuesto a enfermedades de diversos tipos, definiendo enfermedad en su sentido más amplio, es decir alteraciones o mal funcionamiento de la fisiología o bioquímica que regula los mecanismos delicados del organismo. Al final, el efecto acumulativo del mal funcionamiento o la falta de funcionamiento, aunque se corrijan y se modifiquen, produce un daño irreversible, lo llamamos vejez, y, aún con el mejor cuidado posible en el mundo, lleva a una muerte inevitable.

Hay algunos árboles que pueden vivir hasta cinco mil años, algunos animales de sangre fría que pueden llegar a los doscientos años, algunos animales de sangre caliente que pueden vivir hasta cien años, pero, para cada individuo multicelular, llega el momento final de la muerte.

Eso forma parte esencial del buen funcionamiento de la vida. Constantemente se forman nuevos individuos con distintas combinaciones de cromosomas y genes, y también con genes cambiados. Cambios que representan nuevos intentos, por definirlo de alguna manera, para adaptar el organismo al ambiente que le rodea. Sin la llegada de organismos nuevos que no sean simplemente copia de los viejos, la evoluciona se detendría. Naturalmente, los organismos nuevos no pueden desempeñar de manera adecuada su papel a menos que los viejos salgan de escena después de haber representado su función de producir el nuevo organismo. En resumen, la muerte del individuo es esencial para la vida de las especies.

Sin embargo, también es esencial que el individuo no muera antes de haber producido la nueva generación; o, por lo menos, que la cifra de muertes no sea tan elevada que disminuya la población hasta el punto de extinción.

La especie humana no puede disfrutar de la inmunidad relativa que representa el daño de la muerte individual y que disfrutan las especies más pequeñas y fecundas. Los seres humanos son comparativamente grandes, de vida larga y lenta reproducción, de modo que una muerte demasiado rápida lleva en sí el espectro de la catástrofe. Una cifra elevada y anormal de muertes rápidas por enfermedad dé los seres humanos puede mermar muchísimo la población humana. No es difícil imaginar que su elevada incidencia pueda llegar a extinguir por completo la especie humana.

A este respecto, la enfermedad más peligrosa es ese tipo de mal funcionamiento llamado «enfermedad infecciosa». Existen muchos trastornos que pueden afectar al ser humano en una u otra forma, y también pueden matarle, pero no representan una amenaza para la especie en general porque quedan limitados al individuo afectado. Sin embargo, cuando una enfermedad puede ser transmitida de un ser humano a otro, y cuando su incidencia en un individuo puede conducir a la muerte de ese individuo y de otros millones como él, entonces es que existe la posibilidad de una catástrofe.

En verdad, las enfermedades infecciosas en tiempos históricos se han acercado mucho más a la extinción de la especie humana que la depredación de cualquier animal. Y aunque esas enfermedades no han conseguido, aún en sus peores manifestaciones, poner fin a los seres humanos como especie viviente, puede dañar gravemente una civilización y cambiar el curso de la Historia. De hecho, esto ha sucedido varias veces.

Además, quizá la situación ha empeorado con el progreso de la civilización. La civilización ha significado el desarrollo y el crecimiento de ciudades y el hacinamiento de la gente en barrios populosos. De igual manera que el fuego puede propagarse mucho más rápidamente de árbol en árbol en un bosque denso que en puntos aislados, así las enfermedades infecciosas se propagan más rápidamente en los barrios de mayor densidad que en los lugares aislados. Mencionaré unos cuantos casos famosos en la Historia: En 431 a. de JC, Atenas y sus aliados guerreaban contra Esparta y sus aliados. Fue una guerra que duró veintisiete años que arrumó Atenas, y en una extensión considerable, toda Grecia. Dado que Esparta dominaba la tierra, toda la población ateniense se agrupó en la ciudad amurallada de Atenas. Allí estaban a salvo y podían recibir provisiones por mar, que controlaba la marina ateniense. Probablemente Atenas hubiera ganado la guerra pronto por desgaste de su enemigo, y Grecia hubiera evitado su ruina, pero surgió la enfermedad.

En el 430 a. de JC, una plaga infecciosa cayó sobre la densa población de Atenas y mató el 20 % de ella, incluido a su carismático líder, Perícles. Atenas continuó la lucha, pero nunca recobró su población ni su fuerza, y finalmente perdió la guerra.

Con frecuencia las plagas comenzaban en el este y el sur de Asia en donde la población era más densa, y se dispersaban hacia el oeste. El año 166 d. de JC, cuando el Imperio romano se hallaba en la cúspide de su fuerza y esplendor bajo el gobierno del gran trabajador y emperador-filósofo Marco Aurelio, los ejércitos romanos que luchaban en los límites orientales del Asia Menor, comenzaban a sufrir una enfermedad epidémica (posiblemente viruela). Con ellos, la enfermedad se propagó a las otras provincias y hasta Roma. En su punto culminante, cada día morían en Roma dos mil personas. La población comenzó a disminuir y no recuperó la cifra de antes de la plaga hasta el siglo XX. Se atribuye a muchas e importantes razones el lento y largo declive de Roma que siguió al reinado de Marco Aurelio, pero el efecto debilitante de la plaga del año 166 seguramente desempeñó un importante papel.

Aun después de que las provincias occidentales romanas quedasen arrasadas por la invasión de las tribus germanas, y se perdiera Roma, la mitad oriental del Imperio romano continuó existiendo con su capital en Constantinopla. Bajo el eficiente gobierno del emperador Justiniano I, que subió al trono en el año 527, África, Italia y algunos lugares de

España fueron recuperados y durante algún tiempo pareció que el Imperio se podría reagrupar. Sin embargo, el año 541, surgió la plaga de peste bubónica. Era una enfermedad que comenzaba atacando a las ratas, pero las moscas podían transmitirla a los seres humanos picando primero una rata enferma y después a un ser humano sano. La peste bubónica actuaba rápidamente y a menudo resultaba fatal. Es posible que estuviera acompañada de una variante más mortífera todavía, la peste neumónica, que puede pasar directamente de una u otra persona, que muere a los pocos días.

La plaga causó estragos durante dos años, causando la muerte de un tercio a la mitad de la población de Constantinopla, y de muchas personas que habitaban en los campos de los alrededores. Después de ello, no quedó ninguna esperanza de unir el imperio, y la zona oriental, que fue conocida como el Imperio de Bizancio, siguió declinando (con recuperaciones ocasionales).

La peor epidemia en la historia de la especie humana se produjo en el siglo XIV. Durante la década de 1330, apareció en el Asia Central una nueva variedad de peste bubónica, de un tipo especialmente fatal. La gente comenzó a morir y la plaga continuó propagándose, inexorablemente, desde el foco original.

Incluso llegó al mar Negro. Allí, en la península de Crimea, adentrado en este mar en la costa central del Norte, había un puerto llamado Kaffa, en donde la República de Génova había establecido un puesto comercial. En octubre de 1347, un barco genovés consiguió llegar a duras penas a Kaffa procedente de Génova. Los pocos hombres que quedaban a bordo y que no habían muerto a causa de la peste, estaban agonizando. Fueron llevados a tierra y así fue como la peste se introdujo en Europa y comenzó a propagarse rápidamente.

Algunas veces la enfermedad era benigna, pero a menudo se mostraba violenta. En este último caso, el paciente solía morir al cabo de dos o tres días de haberse manifestado los primeros síntomas. Sus momentos de mayor gravedad quedaban señalados por la aparición de manchas hemorrágicas que se oscurecían. Por ello se dio a la enfermedad el nombre de «muerte negra».

La muerte negra se propagó incontrolablemente. Se calcula que mató a unos veinticinco millones de personas en Europa antes de desaparecer, y una cifra mucho mayor en África y en Asia. Es posible que destruyese a una tercera parte de toda la población del planeta, quizá setenta millones de personas en total, o más. Nunca, con anterioridad o posterioridad, se ha sabido de nada que matase un porcentaje tan elevado de población como lo hizo la muerte negra.

No es de extrañar que inspirara un enorme terror entre el pueblo. Todo el mundo estaba asustado. Un ataque súbito de temblor o de mareo, un simple dolor de cabeza, podía significar que la muerte le había elegido a uno y que sólo le quedaba un día de vida. Ciudades enteras quedaron despobladas, quedando las primeras víctimas sin enterrar mientras los supervivientes huían despavoridos propagando la enfermedad. Las granjas quedaron abandonadas; los animales domésticos vagaban por todas partes sin que nadie cuidara de ellos. Naciones enteras, el reino de Aragón, por ejemplo, en España, quedaron tan mermadas que nunca lograron recuperarse enteramente.

La destilería de licores se había desarrollado en Italia aproximadamente el año 1100. Ahora, dos siglos después, su popularidad creció. La teoría consistía en que esas bebidas fuertes actuaban como un preventivo contra el contagio. No era cierto, pero el que las tomaba lograba preocuparse menos, cosa que, en tales circunstancias, ya era algo importante. En Europa se implantó la embriaguez y continuó incluso después de que la peste hubiera desaparecido; en verdad, ha quedado enraizada. La plaga también alteró la economía feudal reduciendo drásticamente el suministro de mano de obra. Lo que contribuyó tanto a la destrucción del feudalismo como lo hizo la invención de la pólvora (1).

Desde entonces se han producido otras grandes plagas, aunque ninguna ha conseguido igualar la de la «muerte negra» en su terror y destrucción sin competencia. En 1664 y 1665, la plaga de la peste bubónica surgió en Londres y mató a 75.000 personas.

El cólera, que siempre ha permanecido más o menos latente bajo la superficie en la India (donde es «endémico») en ocasiones adquiría gran virulencia y se propagaba al exterior convirtiéndose en «epidémico». Las mortales epidemias de cólera visitaron Europa en 1831, y de nuevo en 1848 y 1853. La fiebre amarilla, una enfermedad tropical, era transmitida por los marineros en los puertos del Norte, y periódicamente las ciudades americanas quedaban diezmadas por la fiebre amarilla. Todavía en 1905, hubo una epidemia maligna de fiebre amarilla en Nueva Orleáns.

La epidemia más grave desde la muerte negra, fue la de «gripe española» que surgió en el mundo en 1918 y en un solo año mató a treinta millones de personas, unas seiscientas mil de ellas en Estados Unidos. En comparación, cuatro años de la Primera Guerra Mundial, que terminó en 1918, habían causado ocho millones de bajas. Sin embargo, la epidemia de gripe mató menos del 2 % de la población mundial, de modo que la muerte negra continuó sin tener rival.

Las enfermedades infecciosas pueden perjudicar a otras especies además del *Homo sapiens,* algunas veces causando mayor devastación. En 1904, los castaños del Jardín Zoológico de Nueva York, desarrollaron la «enfermedad del castaño», y en un par de décadas virtualmente todos los castaños de Estados Unidos y el Canadá habían desaparecido. Otra, la enfermedad del olmo holandés llegó a Nueva York, en 1930 y se propagó con gran violencia. Se está todavía luchando con ella con todos los recursos de la botánica moderna, pero los olmos continúan cayendo y no se sabe cuántos conseguirán salvarse finalmente.

Algunas veces, los seres humanos utilizan enfermedades de los animales como una forma de pesticida. El conejo fue introducido en Australia en 1859, y, careciendo de enemigos naturales, se multiplicó en completo salvajismo. Al cabo de cincuenta años, se había extendido por todas partes del continente y por mucho que hicieran los humanos, nada parecía poder hacer mella en su población. Pues bien, en la década de los cincuenta, se introdujo deliberadamente una enfermedad del conejo llamada «mixomatosis infecciosa», que era endémica entre los conejos de América del Sur. Altamente contagiosa, resultó mortal para los conejos australianos que nunca habían estado expuestos a ella con anterioridad. Casi en seguida, los conejos morían por millones. Naturalmente, no se llegó a su completo exterminio, y los supervivientes son más resistentes a la enfermedad, pero, incluso en la actualidad, la población de conejos de Australia está muy por debajo de su punto máximo.

Las enfermedades de animales y plantas podrían, directa y desastrosamente, afectar la economía humana. En 1872, surgió una epidemia entre los caballos de los Estados Unidos. No se le encontró remedio. Nadie en aquel momento comprendió que los mosquitos eran los portadores y, antes de que se extinguiera por sí sola, había matado una cuarta parte de todos los caballos norteamericanos. El hecho no representó tan sólo una grave pérdida de propiedad, sino que en aquel momento los caballos representaban una fuente importante de fuerza. La agricultura y la industria quedaron muy perjudicadas y la epidemia contribuyó a causar una grave depresión.

Las enfermedades infecciosas más de una vez han devastado una cosecha y provocado el desastre. La roya destruyó la cosecha de patatas en Irlanda en 1845, y un tercio de la población de la isla murió de hambre o emigró. Hasta el día de hoy, Irlanda no ha recuperado la pérdida de población de ese período de hambre. Igualmente, esa plaga destruyó la mitad de la cosecha del tomate en 1846, en la zona oriental de los Estados Unidos.

Las enfermedades infecciosas son evidentemente más peligrosas para la existencia humana de lo que sería cualquier animal, y podríamos preguntarnos razonablemente si no hubieran podido provocar una catástrofe final antes de que los glaciares tuviesen oportunidad de invadirnos de nuevo, y ciertamente, mucho antes de que el Sol comience a emprender su ruta para convertirse en gigante rojo.

Lo que se interpone entre semejante catástrofe y nosotros es el nuevo conocimiento que hemos adquirido en el pasado siglo y medio respecto a las causas de las enfermedades infecciosas y los métodos para luchar contra ellas.

Microorganismos

En el transcurso de toda su historia, la Humanidad nunca ha contado con defensa alguna contra las enfermedades infecciosas. El hecho real de la infección no se reconocía en los tiempos antiguos y medievales. Cuando la gente comenzaba a morir en masa, la teoría corriente era que un dios airado estaba vengándose por una u otra razón. Las flechas de Apolo estaban lanzadas, de modo que una muerte no era responsable de la otra; Apolo era igualmente responsable de todas ellas.

La Biblia se refiere a algunas epidemias, y en todos los casos habla de la ira de Dios contra los pecadores, como en Samuel 2-4. En los tiempos del Nuevo Testamento, era popular la teoría de las posesiones demoníacas como explicación de la enfermedad, y Jesús y los profetas podían conjurar a los espíritus malignos. La autoridad bíblica en el tema ha mantenido viva la teoría hasta hoy, como prueba la popularidad de películas como *El Exorcista.*

Mientras la causa de la enfermedad se atribuyó a influencias divinas o demoníacas, algo tan mundano como el contagio fue pasado por alto. Por suerte, la Biblia también da instrucciones para aislar a los que sufren de lepra (nombre aplicado no sólo a la lepra en sí misma, sino a otras erupciones menos graves de la piel). La práctica bíblica del aislamiento se realizaba por razones religiosas antes que higiénicas, pues la lepra es mínimamente contagiosa. Basándose en la autoridad de la Biblia, los leprosos fueron aislados en la Edad Media, mientras que no lo fueron otras personas afectadas realmente por enfermedades infecciosas. Sin embargo, la práctica del aislamiento motivó que algunos médicos pensaran en ello relacionándolo generalmente con la enfermedad. Sobre todo, el enorme temor a la muerte negra contribuyó a propagar el concepto de cuarentena, nombre que se refería originalmente al aislamiento durante cuarenta *(quarante* en francés) días (1).

El hecho de que el aislamiento disminuía la propagación de una enfermedad, confirmó que el contagio era un hecho. El primero que examinó con detalle esta posibilidad fue un médico italiano, Girolamo Fracastoro (1478-1553). En 1546, sugirió que la enfermedad podía transmitirse por contacto directo de una persona sana con una enferma, o por contacto indirecto de una persona sana con objetos infectados o incluso por transmisión a distancia. Sugirió que unos cuerpos minúsculos, demasiado pequeños para ser vistos, pasaban de la persona enferma a la sana y que estos minúsculos cuerpos tenían el poder de automultiplicarse.

Fracastoro demostró una notable intuición, pero no poseía evidencia que pudiera demostrar su teoría. Si uno está dispuesto a admitir la existencia de cuerpos diminutos e invisibles que saltan de un cuerpo al otro, haciéndolo de buena fe, también podría aceptar la existencia de demonios invisibles.

Sin embargo, los cuerpos diminutos no continuaron siendo invisibles. Ya en la época de Fracastoro, era corriente el uso de lentes para mejorar la visión. Hacia 1608, se utilizaron combinaciones de lentes para ampliar objetos distantes y se inventó el telescopio. No fue necesaria mucha modificación para disponer de lentes que ampliaran objetos diminutos.

El fisiólogo italiano Marcello Malpighi (1628-1694) fue el primero en utilizar el microscopio para un trabajo importante, informando de sus observaciones hacia 1650.

El microscopista holandés, Antón van Leeuwenhoek (1632-1723) pulió laboriosamente unas pequeñas, pero excelentes, lentes, que le proporcionaron una visión del mundo de los objetos diminutos, mucho mejor de la que nadie tenía en su tiempo. En 1677, colocó agua de una zanja en el toco de uno de sus pequeños lentes y descubrió organismos vivientes demasiado pequeños para ser apreciados a simple vista, pero cada uno de ellos tan vivo indiscutiblemente como una ballena o un elefante, o como un ser humano. Se trataba de los animales unicelulares que en la actualidad conocemos como «protozoos».

En 1683, van Leeuwenhoek descubrió unas estructuras todavía más pequeñas que los protozoos. Se hallaban en el límite de su visibilidad aun con sus mejores lentes, pero, a partir de los esquemas que hizo de lo que vio, es evidente que descubrió las bacterias, los seres unicelulares más pequeños que han existido.

Para conseguir mejores resultados que van Leeuwenhoek, era necesario disponer de microscopios más potentes, cuyo logro era lento. El siguiente analista que describió las bacterias fue el biólogo danés' Otto Friedrich Müller (1730-1784), que los describió en un libro póstumo, dedicado a ese tema que se publicó en 1786.

Considerándolo ahora, parece que debían haber adivinado que, al hablar de bacterias, se referían a los agentes infecciosos de Müller, pero no había pruebas suficientes y hasta las observaciones de Müller eran tan vagas que no se llegó a un acuerdo general sobre la existencia de las bacterias y tampoco de si se trataría de organismos vivos en caso de que se admitieran.

El óptico inglés Joseph Jackson Lister (1786-1869) ideó un microscopio acromático en 1830. Hasta aquel momento, las lentes que se utilizaban refractaban la luz en arco iris de modo que los objetos diminutos quedaban envueltos en color y no podían observarse con claridad. Lister combinó lentes de diferentes tipos de vidrio para poder eliminar el color.

Con la desaparición de los colores, los objetos diminutos destacaban claramente, y en la década de 1860 el botánico alemán Julius Cohn (1828-1898) vio y describió las bacterias, consiguiendo el primer éxito realmente convincente. Tan sólo con el trabajo de Cohn se inició la ciencia de la bacteriología y fue aceptada de modo general la existencia de las bacterias.

Entretanto, aun sin disponer de una indicación clara de la existencia de los agentes de Fracastoro, algunos médicos fueron descubriendo métodos para reducir las infecciones.

El médico húngaro Ignaz Philipp Semmelweiss (1818-1865) insistió en que la fiebre puerperal que causaba tantas defunciones en mujeres en los partos, era inducida por los propios médicos, que pasaban directamente de una autopsia al lado de las parturientas. Luchó para que los médicos se lavaran las manos antes de atender a las mujeres y cuando logró imponerlo, en 1847, la incidencia de la fiebre puerperal descendió enormemente. Los médicos, ofendidos orgullosos de su suciedad profesional, se rebelaron, a pesar del resultado, y al final consiguieron que se les permitiera hacer su trabajo con las manos sucias otra vez. La incidencia de fiebre puerperal ascendió tan rápidamente como había bajado, pero este hecho no inquietó demasiado a los médicos.

El momento crucial llegó con el trabajo de investigación de un químico francés, Louis Pasteur (1822-1895). Aunque era químico, su trabajo le había inclinado cada vez más hacia los microscopios y los microorganismos, y en 1865 se dedicó a investigar una enfermedad del gusano de seda que estaba destruyendo la industria sedera francesa. Mediante su microscopio, descubrió un minúsculo parásito que infectaba a los gusanos de seda y a las hojas de morera de las que se alimentaban. La solución de Pasteur fue drástica, pero racional. Todos los gusanos de seda infectados y la comida infectada habían de ser destruidos. Se debía comenzar de nuevo con gusanos sanos y la enfermedad quedaría vencida. Se siguió su consejo y dio resultado. La industria de la seda se salvó.

Esto impulsó el interés de Pasteur en las enfermedades contagiosas. Pasteur creía que, si la enfermedad del gusano de seda estaba causada por parásitos microscópicos, también otras enfermedades podían encontrarse en el mismo caso, y así nació la teoría del «germen de la enfermedad». Los agentes infecciosos invisibles de Fracastoro eran microorganismos, con frecuencia las bacterias que Cohn estaba sacando claramente a la luz del día.

A partir de entonces fue posible combatir racionalmente las enfermedades infecciosas, utilizando una técnica que se había introducido en la medicina hacía más de medio siglo. En 1798, el médico inglés Edward Jenner (1794-1823) había demostrado que las personas inoculadas con una enfermedad leve, vacuna, o *vaccinia,* en latín, se inmunizaban no sólo a la propia vacuna, sino a la enfermedad tan temida y virulenta, la viruela. La técnica de la «vacunación» acabó virtualmente con la antigua plaga de la viruela.

Por desgracia, no se descubrieron otras enfermedades que se presentaran tan convenientemente emparejadas, es decir, la manifestación leve que concedía inmunidad a la manifestación grave. Sin embargo, con la noción de la teoría de los gérmenes la técnica podía ampliarse de otro modo.

Pasteur localizó gérmenes específicos asociados con enfermedades específicas, los debilitó por el calor, u otros medios, y los utilizó para inoculaciones. Únicamente se producía la forma leve de la enfermedad, pero inmunizaba contra las formas más graves de la enfermedad. La primera enfermedad que recibió este tratamiento fue el mortífero ántrax que devastaba los rebaños de animales domésticos.

El bacteriólogo alemán Robert Kock (1843-1910) prosiguió un trabajo similar, con mayor éxito aún. Desarrolló también antitoxinas destinadas a neutralizar tóxicos bacterianos.

Entretanto, el cirujano inglés Joseph Lister (1827-1912), hijo del inventor del microscopio acromático, había continuado los trabajos de Semmelweiss. Cuando se enteró de las investigaciones de Pasteur, con la razón fundamental como excusa, empezó a insistir en que, antes de operar, los cirujanos se lavaran las manos en soluciones de productos químicos para matar los gérmenes. Desde 1867 se difundió rápidamente la práctica de la «cirugía antiséptica».

La teoría de los gérmenes aceleró también la adopción de medidas preventivas fundamentales: higiene personal, como lavarse y bañarse; eliminación cuidadosa de los desperdicios; conservación de la limpieza en la comida y en el agua. En estas cuestiones, fueron pioneros los científicos alemanes Max Joseph von Pettenkofer (1818-1901) y Rudolf Virchow (1821-1902). Éstos no aceptaban la teoría de los gérmenes en la enfermedad, pero sus recomendaciones no se hubieran seguido tan fácilmente si los demás no las hubiesen creído.

Se descubrió, además, que ciertas enfermedades, como la fiebre amarilla y la malaria, eran transmitidas por mosquitos; la fiebre tifoidea, por los piojos; la fiebre manchada de las Montañas Rocosas, por garrapatas; la peste bubónica, por las moscas, y así sucesivamente. Las medidas adoptadas contra estos pequeños organismos transmisores de gérmenes contribuyeron en disminuir la incidencia de las enfermedades. En esos descubrimientos colaboraron hombres como los americanos Walter Reed (1851-1902) y Howard Taylor Ricketts (1871-1910), y el francés Charles J. Nicolle (1866-1936).

El bacteriólogo alemán Paul Ehrlich (1854-1915) fue pionero en el uso de ciertos productos químicos que mataban determinadas bacterias sin destruir al ser humano en el que vivían. Su mayor descubrimiento lo realizó en 1910, cuando encontró un compuesto de arsénico activo contra las bacterias que producían la sífilis.

Este tipo de trabajo culminó con el descubrimiento del efecto antibacteriano de las sulfamidas y compuestos relacionados, empezando con el trabajo del bioquímico alemán Gerhard Domagk (1895-1964) en 1935, y de los antibióticos, comenzando con el trabajo del microbiólogo franco-americano René Jules Dubos (1901-) en 1939.

Hasta 1955 no se obtuvo una plena victoria contra la poliomielitis, gracias a una vacuna preparada por el microbiólogo Jonas Edward Salk (1914-).

No obstante, la victoria no ha sido completa. En la actualidad, aquella enfermedad en otras épocas devastadora, la viruela, parece haber sido erradicada. No existe ni un solo caso, por lo menos que sepamos, en todo el mundo. Sin embargo, existen enfermedades infecciosas, como algunas descubiertas en África, sumamente contagiosas, en realidad ciento por ciento fatales, y para las que no se dispone de medios de curación. Cuidadosas medidas higiénicas han permitido que esas enfermedades se estudiaran evitando su propagación, y no hay duda de que se encontrarán las contramedidas adecuadas.

Nuevas enfermedades

Por consiguiente, podríamos creer que mientras nuestra civilización sobreviva y nuestra tecnología médica no se tambalee, no existe ya el peligro de que una enfermedad infecciosa produzca una catástrofe o algo parecido a los desastres de la muerte negra o de la gripe. Sin embargo, las antiguas enfermedades conocidas llevan en sí el potencial de crear nuevas formas de enfermedad.

El cuerpo humano (y todos los organismos vivos) tiene defensas naturales contra la invasión de los organismos extraños. En el torrente sanguíneo se desarrollan anticuerpos que neutralizan toxinas o los propios microorganismos. Los leucocitos, en el torrente sanguíneo, atacan físicamente las bacterias.

Por lo general, los procesos de la evolución igualan la lucha. Aquellos organismos que mejor se autodefienden de los microorganismos, tienden a sobrevivir y transmiten su capacidad a los descendientes. Sin embargo, los microorganismos son mucho más pequeños incluso que los insectos, y mucho más fecundos. Se desarrollan con más rapidez, careciendo individualmente casi de la más absoluta importancia dentro del esquema general.

Teniendo en cuenta las cifras innumerables de microorganismos de cualquier especie determinada que están multiplicándose sin cesar por la fisiparidad de las células, de la misma manera pueden producirse continuamente una enorme cifra de mutaciones. De vez en cuando, una de esas mutaciones puede actuar de modo que una enfermedad sea más infecciosa y fatal. Además, puede alterar suficientemente la naturaleza química de los microorganismos, de manera que los anticuerpos que el organismo anfitrión es capaz de producir pierdan su eficacia. El resultado es el brote espontáneo de una epidemia. La muerte negra fue provocada, sin ninguna duda, por un rasgo mutante del microorganismo que la causaba.

Sin embargo, a veces, los seres humanos más susceptibles a la enfermedad mueren, y los que la resisten relativamente, sobreviven, de manera que la virulencia de las enfermedades disminuye. En tal caso, ¿es permanente la victoria humana sobre los microorganismos patogénicos? ¿No podrían producirse nuevos tipos de gérmenes? Así podría suceder, y así sucede. Periódicamente, en intervalos de pocos años, se producen nuevos brotes de gripe importantes. Sin embargo, es posible preparar vacunas contra ese nuevo tipo después que ha hecho su aparición. Cuando un solo caso de «gripe porcina» surgió en 1976, se PUSO en marcha una vacunación en masa a gran escala. Finalmente resultó que no era necesario, pero quedó demostrado que podía realizarse.

Como es natural, la evolución también trabaja en sentido contrario. El uso indiscriminado de antibióticos tiende a eliminar microorganismos útiles, dejando escapar, en cambio, otros relativamente resistentes que se multiplican creando un nuevo tipo de microorganismos resistentes a los antibióticos. De este modo podemos estar creando nuevas enfermedades, por así decirlo, mientras intentamos hacer frente a las antiguas. Sin embargo, en este caso, los seres humanos pueden contraatacar utilizando dosis mayores de los viejos antibióticos o con el uso de nuevos tipos.

Por lo menos, parece que podemos seguir manteniéndonos, lo que significa que hemos ganado mucho terreno si consideramos la situación tal como estaba hace tan sólo doscientos años. Sin embargo, ¿existe la posibilidad de que los seres humanos sean atacados de repente por una enfermedad tan fatal contra la que no haya defensa posible y nos elimine por completo? En especial, ¿existe la posibilidad de que nos llegue una «plaga del espacio» según se narraba en la popular novela de Michael Crichton *La amenaza de Andrómeda.*

Una NASA prudente lo tiene en cuenta. Por ello, esterilizan cuidadosamente los objetos que envían a otros planetas para reducir al mínimo la posibilidad de propagar microorganismos terrestres en suelo extraño, confundiendo de este modo el estudio de los microorganismos nativos del planeta. También los astronautas permanecen en cuarentena cuando regresan de la Luna hasta que hay la seguridad de que no han sido contaminados con ninguna infección lunar.

Esta precaución parece ser innecesaria. En realidad, son muy reducidas las posibilidades de que existan microorganismos en alguna otra parte del Sistema Solar, y cada

nueva investigación de los cuerpos planetarios confirma más la imposibilidad. Pero, ¿qué podríamos decir de la vida en el exterior del Sistema Solar? Surge aquí otro tipo de invasión del espacio interestelar que todavía no hemos discutido: la llegada de formas extrañas de vida microscópica.

El primero que tuvo en cuenta esta posibilidad con detalle científico fue el químico sueco, Svante August Arrhenius (1859-1927). Estaba interesado en el problema del origen de la vida. Arrhenius creía que la vida podía estar esparcida en el Universo y que podía diseminarse por infección, para explicarlo de algún modo.

En 1908, señaló que las esporas bacterianas podían haber sido transportadas a la atmósfera superior por vientos errantes, y que algunos incluso podían escapar por entero de la Tierra, de modo que la Tierra (y, evidentemente, cualquier otro planeta portador de vida) dejaría a su paso una estela de esporas portadoras de vida. Esta hipótesis es conocida como «panspermia».

Las esporas, señaló Arrhenius podían soportar el frío y la falta de aire del espacio durante largos períodos de tiempo. Serían alejadas del Sol y llevadas más allá del Sistema Solar por la presión de la radiación (hoy día, diríamos por el viento solar). Y es posible que llegaran a otro planeta. Arrhenius sugería que unas esporas semejantes pudieron llegar a la Tierra en un tiempo en que todavía no se había formado la vida, y que la vida en la Tierra era el resultado de la llegada de tales esporas y que todos nosotros descendíamos de ellas (1).

Si esto es cierto, ¿no sería posible que la panspermia fuese activa todavía? ¿No podrían estar llegando esporas todavía, quizá en este mismo momento? ¿Tendría alguna de ellas la facultad de producir enfermedades? ¿Serían unas esporas extrañas las que produjeron la muerte negra por casualidad? ¿Podrían el día de mañana producir otra muerte negra mucho peor que la anterior?

Una falla importante en esta línea de argumentación, falla que no se vio en 1908, es que aunque las esporas son insensibles al frío y al vacío, lo son en alto grado a la radiación energética como, por ejemplo, la luz ultravioleta. Probablemente serían destruidas por la radiación de su propia estrella si procedieran de algún planeta lejano, y si de alguna manera consiguieran sobrevivir, quedarían destruidas por los rayos ultravioleta de nuestro propio astro solar, mucho antes de que se acercaran lo suficiente para entrar en la atmósfera terrestre.

Sin embargo, ¿no podría suceder que algunas esporas sean relativamente resistentes a los rayos ultravioleta, o tengan la suerte de escapar? En este caso, no deberíamos suponer que esas esporas proceden necesariamente de planetas distantes en los que creemos existe la vida (cuya existencia no ha sido confirmada con pruebas, aunque las probabilidades a favor son numerosas). ¿No podrían proceder también de las nebulosas de polvo y gas que existen en el espacio interestelar y que ahora pueden ser estudiadas con minucioso detalle?

En la década de 1930, quedó confirmado que el espacio interestelar contenía una aspersión de átomos individuales, predominantemente hidrógeno, y que las nebulosas interestelares de polvo y gas deben tener una aspersión más densa. Sin embargo, los astrónomos estaban convencidos, de que incluso en su forma más densa esas aspersiones consistían de átomos simples. Para producir combinaciones de átomos, dos de ellos hubieran debido chocar, hecho que no parecía probable.

Además, si se formasen combinaciones de átomos, para ser descubiertos deberían hallarse entre nosotros y alguna estrella brillante que absorbiera luz de esa estrella en una onda característica cuya pérdida nosotros hubiéramos detectado, y estar presentes en cierta cantidad determinada, suficiente para ser descubierta por la absorción. También eso resulta improbable.

Sin embargo, en 1937, se descubrieron una combinación de carbono-nitrógeno (CN o «radical cianógeno») y otra de carbono-hidrógeno (CH, o «radical metileno») que encajaban en aquellos requisitos.

Después de la Segunda Guerra Mundial, se desarrolló la radioastronomía, que se convirtió en una poderosa herramienta nueva para aquel propósito. En el nivel visible de luz, podían detectarse determinadas combinaciones de átomos sólo por medio de su absorción

característica de luz estelar. Sin embargo, los átomos individuales de esas combinaciones giran, se retuercen y vibran, y esos movimientos emiten ondas de radio que ahora podían ser descubiertas con gran delicadeza.

Cada combinación distinta de átomos emitía ondas de radio en longitudes de onda características, según se sabía por los experimentos realizados en el laboratorio, y se pudo identificar sin ninguna duda cualquier combinación determinada de átomos. En 1963, se descubrieron más de cuatro longitudes de ondas de radio, todas ellas características de la combinación oxígeno-hidrógeno (OH, o «radical hidroxilo»).

Hasta 1968, únicamente se habían detectado esas tres combinaciones de dos átomos CH, CN y OH, lo que ya resultaba bastante sorprendente, pues nadie esperaba que existieran combinaciones de tres átomos. Sería demasiada casualidad que después del choque y la unión de dos átomos un tercero viniera a unírseles.

Sin embargo, en 1968 se descubrieron una molécula de agua de tres átomos (H_2O), en nubes interestelares y por su característica radiación de onda, y una molécula de amoníaco de cuatro átomos (NH_3). Desde ese momento, ha aumentado rápidamente la lista de los productos químicos descubiertos y se han descubierto combinaciones de hasta siete átomos. Y lo que es más, las combinaciones más complejas incluyen siempre al átomo de carbono, de modo que es posible sospechar que incluso moléculas tan complicadas como los bloques de aminoácidos constructores de proteínas pueden existir en el espacio, pero posiblemente en cantidades demasiado pequeñas para ser descubiertas.

Llegados a este punto, ¿será posible que en estas nubes interestelares se desarrollen esas formas de vida tan simples? En ese caso, no hay por qué preocuparse de la luz ultravioleta, porque las estrellas pueden estar muy lejanas y el polvo de las nubes puede actuar como una sombrilla protectora.

En ese caso, ¿es posible también que la Tierra, al cruzar esas nubes, recoja, alguno de esos microorganismos (los cuales estarán protegidos incluso contra las radiaciones ultravioleta de nuestro Sol por las partículas de polvo que los rodean), capaz de producir alguna enfermedad totalmente extraña para nosotros contra la que no dispongamos de defensas, y nos cause a todos la muerte?

El astrónomo Fred Hoyle se ha acercado más a la meta respecto a esta cuestión. Hoyle estudia los cometas, los cuales se sabe tienen combinaciones de átomos muy parecidos a los de las nubes interestelares y que, cuando se aproximan al Sol, desprenden una enorme nube de polvo y gas y que el viento solar esparce en forma de una larga cabellera o cola.

Los cometas se hallan mucho más cerca de la Tierra que las nubes interestelares, y es mucho más probable que la Tierra cruce la cola de un cometa que una nube interestelar. En 1910, como ya he mencionado anteriormente en este libro, la Tierra cruzó la cabellera del cometa Halley.

La cola de un cometa es tan fina y tan parecida al vacío, que no puede perjudicarnos mucho en lo que se refiere a interferir en el movimiento de la Tierra o en la contaminación de su atmósfera; sin embargo, ¿hubiésemos podido recoger algunos microorganismos extraños, que, después de multiplicarse, y pasando quizá por mutaciones en su nuevo ambiente, nos atacaran con un efecto mortal?

¿Nacería la gripe española de 1918 a raíz del paso por la cola del cometa Halley, por ejemplo? ¿Se produjeron otras grandes epidemias por causas semejantes? Si así fuese, ¿podría un nuevo paso futuro producir una nueva enfermedad, más perjudicial que las anteriores? ¿Existe posibilidad de que tengamos que enfrentarnos con la catástrofe, imprevisiblemente, por un acontecimiento parecido?

En estos momentos, todo parece sumamente improbable. Aunque en las nubes interestelares o en los cometas se formen combinaciones tan complejas para la vida, ¿por qué habrían de tener precisamente aquellas características necesarias para atacar a los seres humanos o cualquier otro organismo terrestre?

Recordemos que únicamente una pequeñísima fracción de los microorganismos son

patogénicos y causan enfermedades. Y entre los primeros, la mayor parte producirán enfermedad sólo en un organismo determinado o un pequeño grupo de organismos siendo innocuos para el resto. (Por ejemplo, ningún ser humano ha de temer la enfermedad del olmo holandés, y tampoco puede dañar a un roble. Y, paralelamente, un olmo o un roble nunca estarán expuestos al peligro de un resfriado.)

De todas maneras, un microorganismo ha de adaptarse profunda e intrínsecamente a su labor, para conseguir enfermar un determinado cuerpo. Parece quedar fuera de toda duda, que sería muy casual que un organismo extraño, formado por casualidad en las profundidades del espacio interestelar o en un cometa, poseyera las características químicas y fisiológicas adecuadas para adaptarse como parásito en un ser humano.

A pesar de ello, el peligro de que surja algún tipo nuevo e inesperado de enfermedad infecciosa no desaparece totalmente. Tendremos ocasión de referirnos de nuevo a este tema, más adelante, considerándolo desde un ángulo totalmente distinto.

Capítulo XIII

EL CONFLICTO DE LA INTELIGENCIA

Inteligencia no humana

En el capítulo anterior nos hemos referido a los peligros que pueden amenazar a la Humanidad originados en otras formas de vida, habiendo llegado a la conclusión de que el *status* humano, en competencia con esas formas de vida, puede variar desde la victoria en su situación más favorable, hasta un empate en su peor situación. Y aunque ese empate exista, la tecnología en desarrollo podría proporcionar la victoria. Ciertamente, no es probable que la Humanidad sea derrotada por especies no humanas mientras la tecnología siga en pie y la civilización no se debilite por otros factores.

Sin embargo, esas formas de vida que hemos presentado sin posibilidad real de eliminar totalmente la Humanidad, tienen algo en común: no están al mismo nivel de inteligencia del *Homo sapiens*.

Aunque una vida no humana consiga una victoria parcial, del mismo modo que una columna de hormigas soldado pueden dominar a una persona que encuentren en su camino, o una plaga de bacilos multiplicándose rápidamente pueda eliminar millones de seres humanos, el peligro es el resultado de un comportamiento más o menos automático e inflexible por parte de los atacantes victoriosos temporalmente. Los seres humanos, considerados como especie, cuando disponen de un respiro, pueden organizar una estrategia de contraataque, y, por lo menos hasta este momento, los resultados de semejantes contraataques han variado desde la aniquilación del enemigo hasta, en el peor de los casos, su detención. Probablemente, la situación no empeorará en el futuro, hasta donde nosotros podemos prever.

Sin embargo, ¿qué sucedería si los organismos con los que hemos de enfrentarnos fuesen tan inteligentes, o quizá más inteligentes, que nosotros mismos? En ese caso, ¿no correríamos el riesgo de ser destruidos? Efectivamente, pero, en toda la Tierra, ¿dónde podemos encontrar a ese ser con la misma inteligencia que nosotros?

Los animales más inteligentes, aparte de los seres humanos, elefantes, osos, perros, hasta chimpancés y gorilas, no están a nuestra altura. Ninguno de ellos puede hacernos frente, ni por un instante, si la Humanidad utiliza despiadadamente sus recursos tecnológicos. Si consideramos el celebro como el medidor físico de la inteligencia, comprobamos que el cerebro humano, con su masa que llega a un peso medio de 1,45 kilogramos (3,2 libras), en el mayor de los dos sexos, es casi el más considerable que haya podido existir, ya sea en el tiempo presente o en el pasado. Únicamente los mamíferos gigantes, los elefantes y las ballenas, nos superan al respecto.

El cerebro del mayor elefante puede alcanzar hasta 6 kilogramos de peso (13 libras), algo más de cuatro veces el de un ser humano, mientras que el cerebro de una ballena supera todas las marcas de masa con unos 9 kilogramos (20 libras), o sea, una seis veces el peso de un cerebro humano.

Sin embargo, estos enormes cerebros tienen que gobernar un cuerpo mucho mayor que el que corresponde controlar a un cerebro humano. El mayor cerebro de elefante puede llegar a ser cuatro veces el de un ser humano, pero su cuerpo quizá supera cien veces, en peso, al cuerpo humano. Mientras que a cada kilogramo de cerebro humano le corresponde gobernar aproximadamente cincuenta kilogramos de cuerpo humano, un kilogramo de cerebro de elefante ha de gobernar 1.200 kilogramos de cuerpo de elefante. En las ballenas mayores, cada kilogramo de cerebro de ballena gobierna por lo menos 10.000 kilogramos de cuerpo de ballena.

En el cerebro del elefante queda menos espacio que en el de la ballena para el pensamiento abstracto y la reflexión, una vez se han restado las necesidades de coordinación

del cuerpo, y, al parecer, no queda ni la más pequeña duda de que, a pesar de la medida de su cerebro, el ser humano es mucho más inteligente que el elefante asiático o la ballena azul.

A pesar de ello, en unos determinados grupos de organismos, la proporción cuerpo-cerebro tiende a aumentar el segundo a medida que el primero disminuye. En algunos monos pequeños (y asimismo en los colibríes) a cada gramo de cerebro le corresponde gobernar únicamente 17,5 gramos de cuerpo. En este caso, sin embargo, los pesos absolutos son tan ínfimos que el cerebro del mono no llega a ser lo bastante grande para poseer la complejidad requerida para el pensamiento abstracto y la reflexión.

Así pues, el ser humano se halla en un feliz término medio. Cualquier criatura con un cerebro mucho mayor que el nuestro posee un cuerpo tan enorme que le resulta imposible una inteligencia comparable a la nuestra. Por el contrario, cualquier criatura con un cerebro grande, comparado con su cuerpo, en relación con el ser humano posee un cerebro tan pequeño que es imposible una inteligencia comparable con la nuestra.

Esto nos deja solos en la cumbre, o casi en esta situación. Entre las ballenas y sus parientes, la proporción cerebro-cuerpo también tiene tendencia a aumentar cuando el tamaño disminuye. Este es el caso de los miembros más pequeños del grupo. Algunos delfines y marsopas poseen un peso igual al del ser humano, pero sus cerebros son mayores que el cerebro humano. El cerebro del delfín común puede alcanzar un peso de hasta 1,7 kilogramos (3,7 libras) y eso significa que es una sexta parte mayor que el cerebro humano. Y, además, presenta más repliegues.

¿Por tanto, puede ser el delfín más inteligente que un ser humano? Ciertamente, no existe duda alguna de que el delfín es excepcionalmente inteligente para ser un animal. Al parecer, posee un medio complejo de expresarse fonéticamente, es *capaz* de aprender a exhibirse con gran éxito, y no existe duda de que goza con ello. Sin embargo, la vida en el mar que les obliga a mantener su forma aerodinámica para poder moverse rápidamente en un medio viscoso, ha privado a los delfines de los órganos para manejarse, equivalentes a las manos humanas. También, puesto que la naturaleza del agua de mar hace imposible el fuego, los delfines se han visto privados de una tecnología reconocible. Por ambas razones, los delfines no pueden mostrar su inteligencia en los términos humanos de práctica.

Como es natural, los delfines pueden poseer una inteligencia profundamente introspectiva y filosófica, y si nosotros pudiéramos comprender su sistema de comunicación, quizá descubriríamos que su modo de pensar es más admirable que el de los seres humanos.

Sin embargo, esa cuestión no constituye el tema principal de este libro. Sin el equivalente de unas manos y de la tecnología, los delfines no pueden competir con nosotros ni amenazarnos. De hecho, si los seres humanos se empeñaran en ello (y espero que eso nunca ocurra), podrían, sin muchas molestias, eliminar totalmente a la familia de las ballenas.

¿Es posible, sin embargo, que en el futuro algún animal pueda desarrollar una inteligencia superior a la nuestra y nos destruya? Es sumamente improbable, mientras la Humanidad sobreviva y conserve su tecnología. La evolución no procede a grandes saltos, sino con un paso terriblemente lento. Cualquier especie únicamente logrará incrementar su inteligencia en un período de tiempo igual a cien mil años, o, con más probabilidad, de un millón de años. Quedará tiempo suficiente para que los seres humanos (a lo mejor aumentando también su inteligencia) observen el cambio y es razonable suponer que si la Humanidad concibe un peligro potencial en el acceso a la inteligencia de una especie determinada, la eliminará por completo (1).

Aunque queda otro punto por considerar, basándonos en esa suposición. *¿Es* que necesariamente ese competidor en inteligencia ha de proceder de la propia Tierra? Me he referido ya a las posibilidades de que lleguen a la Tierra diversos tipos de objetos procedentes del espacio mas allá del Sistema Solar: estrellas, agujeros negros, antimateria, asteroides, nebulosas, incluso microorganismos. Queda por considerar otro tipo de llegada a la Tierra. Nos referimos a la llegada de seres inteligentes procedentes de otros mundos. ¿No podrían estos seres poseer una inteligencia superior a la terrestre y una tecnología más avanzada muy

por encima del nivel de la nuestra? ¿Y no podrían ellos eliminarnos tan fácilmente como ahora nosotros podríamos eliminar, si lo deseáramos, a los chimpancés? Es evidente que eso no ha sucedido hasta el momento presente, pero, ¿podría suceder en el futuro? Esto es algo que no podemos descartar por completo. En mi libro *Civilizaciones extraterrestres* (Crown, 1979), expongo razonamientos en favor de la suposición de que en nuestra galaxia puedan haberse desarrollado civilizaciones tecnológicas hasta el total de los 390 millones de planetas que la habitan, y que virtualmente todos ellos posean una tecnología más avanzada que la terrestre. De ser así, la distancia media entre tales civilizaciones es aproximadamente de cuarenta años-luz. En este caso es probable que nos hallemos a una distancia de cuarenta años-luz, o menos, de una civilización más avanzada que la nuestra. ¿Estamos, por consiguiente, en peligro?

La mejor razón para convencernos de que estamos a salvo reside en el hecho de que tal invasión no se ha producido en el pasado, que nosotros sepamos, y de que durante los cuatro mil seiscientos millones de años de tiempo de vida de la Tierra, nuestro planeta ha proseguido su curso aislado sin impedimentos. Es razonable suponer que si durante ese largo período de tiempo del pasado nadie nos ha molestado, seguiremos igualmente tranquilos durante miles de millones de años en el futuro.

Debemos mencionar que, de vez en cuando, diversos irracionalistas o algunas personas bordeando el campo religioso afirman que inteligencias extraterrestres *han* visitado la Tierra. Estas afirmaciones encuentran con frecuencia seguidores entusiastas, especialmente entre aquellas personas que no tienen un conocimiento amplio de la ciencia. Por ejemplo, en el culto de los platillos volantes se cuentan las historias más extraordinarias, y también las afirmaciones de Erich von Däniken, cuyas referencias a «viejos astronautas» han presentado un enorme atractivo entre personas poco conocedoras de la ciencia.

Sin embargo, ninguna afirmación de una invasión extraterrestre, ya sea actual o en el pasado, ha podido ser confirmada por la investigación científica. Aunque se permitan las afirmaciones de los que creen en ese culto, el hecho es que esas invasiones han demostrado no encerrar ningún peligro. En realidad, no hay signo alguno de que hayan afectado a la Tierra en modo alguno.

Por tanto, si nos aferramos al racionalismo, hemos de presumir que la Tierra ha estado siempre aislada durante toda su historia, preguntándonos el motivo. Hay tres razones generales que responden a esta pregunta:

1. Hay algo equivocado con los análisis según cito en mi libro de referencia, y de hecho, no hay otras civilizaciones aparte la nuestra.
2. Si semejantes civilizaciones existieran, el espacio entre ellas es tan enorme, que no es posible cruzarlo.
3. Si hubiera la posibilidad de atravesar ese espacio, y otras civilizaciones pueden llegar hasta nosotros, por alguna razón han preferido evitarnos.

Entre estas sugerencias, la primera es ciertamente una posibilidad, y, sin embargo, la mayoría de los astrónomos prefieren la duda. Hay algo filosóficamente repugnante en creer que, entre todas las estrellas de la Galaxia (hasta trescientos mil millones) únicamente nuestro propio Sol calienta un planeta portador de vida. Puesto que existen muchas estrellas como nuestro Sol, parece inevitable la formación de otros sistemas planetarios, e igualmente ineludible la formación de vida en algún planeta adecuado, e inevitable también la evolución de la inteligencia y la civilización una vez transcurrido el tiempo adecuado.

Evidentemente, es plausible que puedan desarrollarse civilizaciones tecnológicas a millones, pero ninguna de ellas sobrevive mucho tiempo. El ejemplo de nuestra propia situación actual confiere cierta funesta credibilidad a este pensamiento, y sin embargo, el suicidio no tiene porqué ser necesariamente una consecuencia inevitable. Algunas de las civilizaciones podrían persistir. Incluso la nuestra.

La tercera razón también parece dudosa. Si fuese posible cruzar esos enormes espacios entre civilizaciones, seguramente ya habrían enviado expediciones para explorar y recoger

datos; quizá para colonizar. Puesto que la galaxia tiene ciento cincuenta mil millones de años de edad, deben de existir por lo menos algunas civilizaciones que habrán durado mucho tiempo y alcanzado niveles enormemente sofisticados.

Aunque la mayor parte de las civilizaciones tenga una vida corta, la minoría que sobreviviera probablemente colonizaría los planetas abandonados y establecería «imperios en las estrellas».

Y parece inevitable que nuestro Sistema Solar hubiera sido alcanzado por las naves exploradoras de estos imperios y los planetas explorados.

Los que rinden culto a la teoría de los platillos volantes podrían muy bien adoptar esta línea de argumentación como la racionalidad de su creencia. Pero, si los platillos volantes son en realidad las naves exploradoras de imperios de las estrellas que exploran nuestro planeta, ¿por qué no entablan contacto? Si no desean interferir en nuestro desarrollo, ¿por qué se dejan ver? Y si nosotros no les importamos, ¿por qué vienen tantos?

Además de que, ¿por qué es justamente ahora, y no en el pasado, ahora que hemos llegado a punto avanzado en tecnología, cuando nos visitan? ¿No sería más probable que hubiesen venido a este planeta durante el período de miles de millones de años mientras la vida aquí era primitiva, y hubieran podido colonizar el planeta estableciendo un punto avanzado de su propia civilización? No hay señales de que tal cosa haya sucedido, y, a menos que surjan nuevas pruebas, parece racional creer que jamás hemos sido visitados.

Esto nos deja con la segunda razón, que parece ser la más práctica de las tres. Aunque sólo sean cuarenta años-luz, se trata de una enorme distancia. La velocidad de la luz en el vacío es la velocidad máxima a la que una partícula puede viajar o cualquier información puede ser transferida. De hecho, las partículas con masa viajan siempre a velocidades menores y los objetos tan pesados, como las naves espaciales, lo más probable es que viajen a velocidades considerablemente menores aun en los más altos niveles tecnológicos. (Existen ciertas especulaciones respecto a la posibilidad de viajar a mayor velocidad que la de la luz, pero son tan vagas que no tenemos base sólida para creer que algún día lleguen a ser realidad.)

En estas circunstancias, se necesitarían algunos siglos para cruzar el espacio entre civilizaciones, incluso entre las más próximas, y no es probable que se enviaran al espacio expediciones importantes de conquista.

Podríamos pensar que las civilizaciones, conseguido un alto nivel, pudieran lanzarse al espacio, y establecer colonias autosuficientes y autoabastecidas, como es posible hagan algún día los seres humanos. Estas colonias espaciales, con el tiempo podrían equipararse con mecanismos de propulsión y emprender viajes a través del Universo. En el espacio podría haber colonias de este tipo, que contuvieran individuos de centenares o millares o incluso millones de diferentes civilizaciones.

Sin embargo, esas colonias errantes podrían estar aclimatadas al espacio del mismo modo que algunas formas de vida se aclimataron a la tierra después de emerger del océano de la Tierra. Para los organismos de una colonia espacial, puede resultar tan difícil aterrizar en una superficie planetaria, como lo sería para los humanos lanzarse a un abismo. Es posible que la Tierra sea observada desde el profundo espacio, y podríamos imaginar que hasta la atmósfera llegaran sondas automáticas, pero, probablemente, nada más.

Por tanto, en conjunto aunque la ciencia-ficción ha tratado con frecuencia y dramáticamente de los temas de la invasión y conquista de la Tierra por parte de seres de galaxias lejanas, no es probable que esto signifique una amenaza razonable o una posibilidad de catástrofe para nosotros durante un futuro predecible.

Y, como es natural si continuamos sobreviviendo y si nuestra civilización tecnológica continúa avanzando, progresivamente aumentaremos nuestra capacidad de defendernos de invasores extranjeros.

Guerra

Con lo expuesto, la única especie inteligente que puede representar un peligro para la Humanidad es la propia Humanidad. Y bastarse para ello. Si la especie humana ha de quedar eliminada totalmente en una Catástrofe de Cuarta Clase, es la propia especie humana la que puede provocarla.

Todas las especies rivalizan entre sí por el alimento, el sexo, la seguridad; siempre hay peleas y conflictos cuando estas necesidades surgen entre los individuos. Peleas que generalmente no conducen a la muerte, puesto que el ser humano perdedor suele huir y el vencedor acostumbra a satisfacerse con su victoria inmediata.

Cuando no concurre un alto nivel de inteligencia, no existe conciencia de nada sino del presente; no hay una perspectiva clara respecto al valor de prever rivalidades futuras; no hay un recuerdo lúcido de pasadas afrentas o daños. Inevitablemente, a medida que la inteligencia aumenta, la previsión y la memoria mejoran también, y se llega al punto en que el vencedor no se satisface con el botín inmediato, sino que comienza a percibir las ventajas de matar al vencido para evitar un encuentro futuro. E igualmente, de manera inevitable, se llega al punto en que el vencido que huye, buscará su venganza, y, evidentemente, un combate directo individuo-contra-individuo significará otra pérdida, y el vencido buscará otros medios para lograr la victoria, como una emboscada o agrupar refuerzos.

Resumiendo, los seres humanos inevitablemente alcanzan el punto de hacer la guerra, no porque nuestra especie sea más violenta y maligna que otras especies, sino porque es más inteligente.

Como es natural, mientras los seres humanos tenían que luchar únicamente con uñas, puños, piernas y dientes, pocos resultados mortales podían esperarse. Todo lo más que podía causarse eran cardenales y arañazos, y esa lucha podía ser considerada, en cierto modo, como un ejercicio sano.

Lo malo fue que cuando los seres humanos llegaron a un nivel de inteligencia suficiente para planear la lucha con la ayuda de la memoria y la previsión, habían desarrollado la capacidad de utilizar herramientas. Cuando los guerreros comenzaron a usar garrotes, manejar hachas de piedra, arrojar lanzas con la punta de piedra y disparar flechas con la punta del mismo material, las batallas inexorablemente fueron más sangrientas. El desarrollo de la metalurgia empeoró todavía más la situación sustituyendo la piedra por el bronce, más duro y resistente, y más tarde por el hierro, que es todavía más duro y resistente.

Mientras la Humanidad consistió en grupos errantes en busca de comida, o cazadores, los conflictos seguramente debieron de ser breves, hasta que uno de los bandos abandonaba la lucha y huía al ver que los daños eran inaceptablemente altos. Tampoco había la intención de una conquista permanente, pues no valía la pena conquistar el suelo. Ningún grupo de seres humanos podía permanecer mucho tiempo en un lugar; era necesario vagar sin descanso en busca de nuevas fuentes de alimento, relativamente intactas.

Por último, se produjo un cambio fundamental, ya en el año 7000 a. de JC cuando los glaciares de la última era glacial retrocedían firmemente y los seres humanos usaban todavía la piedra para sus herramientas. En esa época, en varios lugares del Oriente Medio (y, probablemente, también en otras partes), los seres humanos aprendieron a conservar la comida para su futura utilización e incluso a prepararse para la creación futura de su alimento.

Lo consiguieron al domesticar y cuidar de rebaños de animales, como corderos, cabras, cerdos, ganado aves de corral, utilizándolos para la obtención de lana, leche, huevos, y, naturalmente, carne. Manejados de manera adecuada, no podían fallar, pues se podía confiar en que los animales procrearan y se remplazaran, en una proporción, si era necesario, mayor a la de su consumo. De esta manera, los alimentos no comestibles, o de sabor desagradable para los seres humanos, podían ser aprovechados para alimentar a los animales, los cuales, en sí mismos, por lo menos en potencia, constituían un alimento deseable.

El desarrollo de la agricultura fue más importante todavía; la siembra deliberada de cereales, vegetales y árboles frutales. Esto permitió que determinadas variedades de alimentos

se cultivaran en mayor cantidad que la existente en la Naturaleza.

El resultado del desarrollo del pastoreo y la agricultura hizo que los seres humanos pudieran soportar una densidad de población superior a la que hasta entonces había existido. En algunas regiones en donde se registró este progreso, tuvo lugar una explosión demográfica.

Un segundo resultado fue que las sociedades se convirtieron en estáticas. Los rebaños no podían trasladarse tan fácilmente como las tribus humanas hacían en su búsqueda, pero la agricultura constituyó el punto crucial. Las granjas no podían trasplantarse de ningún modo. La propiedad y la tierra fueron importantes, y la importancia del *status* social, basado en la acumulación de posesiones aumentó de manera notable.

Un tercer resultado fue la creciente necesidad de colaboración y el desarrollo de la especialización. Una tribu cazadora es autosuficiente y su grado de especialización es bajo. Una comunidad granjera puede verse obligada a desarrollar y mantener canales para el riego, y levantar cercas para evitar que el ganado se disperse o sea robado por depredadores (humanos o animales). El labrador o el pastor tiene poco tiempo para dedicarlo a otras actividades, pero puede trocar su trabajo por alimento y otras necesidades.

Por desgracia, la colaboración no está basada en razones de buena voluntad, y algunas actividades son más duras y menos deseables que otras. El modo más fácil de solucionar este problema es que un grupo de seres humanos se lance contra otro, y matando algunos del grupo obligue al resto a llevar a cabo el trabajo desagradable. Los vencidos no pueden huir fácilmente, sujetos a granjas y rebaños.

Enfrentados con la posible amenaza constante de un ataque por parte de las otras comunidades, los granjeros y los pastores comenzaron a agruparse y amurallarse para protegerse. La aparición de estas ciudades amuralladas marca el principio de la «civilización», vocablo derivado de una palabra latina que significa «habitante de la ciudad».

Hacia el año 3500 a. de JC, las ciudades se han convertido en complejas organizaciones sociales, que albergaban a mucha gente ajena a las labores de la granja o del pastoreo, pero realizando tareas necesarias para los granjeros o pastores, ya sea como soldados profesionales, como artesanos o artistas, o como administradores. Por aquel entonces, estaba introduciéndose ya el uso de los metales, y muy pronto, después del 3000 a. de JC, se desarrolló la escritura en el Oriente Medio. Consistía en un sistema de símbolos organizado que registraba la información para un largo tiempo con menores posibilidades de que los hechos quedasen distorsionados como podía suceder con la memoria únicamente. Con la escritura se inició el período histórico.

Cuando las ciudades se habían desarrollado, cada una de ellas controlando un territorio circundante dedicado a la agricultura y al pastoreo (el «estado-ciudad»), las guerras de conquista se organizaron mejor, y fueron más mortíferas e inevitables.

Los primeros estados-ciudad se construyeron en las riberas de los ríos. El río ofrecía un camino fácil de comunicación para el comercio y una fuente de agua para los procesos de riego que aseguraban la agricultura. Cuando diferentes estados-ciudad controlaban pequeños trechos de un mismo río, surgían siempre sospechas y a menudo una hostilidad declarada, que obstaculizaban el aprovechamiento del río tanto para la comunicación como para la irrigación. Evidentemente, era necesario, para el beneficio común, que el río estuviese bajo el control de una sola unidad política.

El problema radicaba en cuál sería el estado-ciudad que debía dominar, pues el concepto de una unión federal, en el que todos sus componentes compartiesen las decisiones, nunca se le ocurrió a nadie, según lo que sabemos y probablemente no hubiera sido un sistema práctico de procedimiento en aquella época. La decisión de señalar cuál seria el estado-ciudad dominante quedaba normalmente al azar de una guerra.

El primero que nosotros conozcamos por su nombre, gobernante de una buena porción del curso del río, como resultado de una historia previa de lo que podría ser una conquista militar, es el monarca egipcio Narmer (conocido como Menes en las últimas crónicas griegas). Narmer fundó la Primera Dinastía aproximadamente el 2850 a. de JC y gobernó, sobre todo,

el bajo valle del Nilo. No disponemos de una narración de las circunstancias de sus conquistas, y cabe en lo posible que ese gobierno unificado sea el resultado, probablemente, de una herencia o de la diplomacia.

El primer conquistador indudable, el primer hombre que se hizo con el poder y en una sucesión de batallas estableció su gobierno en una gran área, fue Sargón, de la ciudad sumeria Agade. Subió al poder aproximadamente el 2334 a. de JC y antes de su muerte, el 2305 a. de JC, había logrado el dominio de todo el valle del Tigris-Eufrates. Dado el hecho de que los seres humanos siempre han admirado y valorado la habilidad en ganar batallas, este conquistador ha sido conocido, a menudo, como Sargón *el Grande.* Por el año 2500 a. de JC, la civilización ya estaba bien establecida en cuatro valles fluviales de África y Asia; los del Nilo, en Egipto; del Tigris-Éufrates, en Irak; del Indo, en Pakistán, y del Huang-Ho, en China,

Desde esos puntos, por medio de conquistas y del comercio, la zona de civilización fue ampliándose sin cesar y en el año 200 d. de JC se extendía desde el océano Atlántico al Pacífico, de manera casi ininterrumpida del oeste al este a lo largo de las orillas norte y sur del Mediterráneo y a través del Asia Meridional y Oriental. Esto representa una longitud este-oeste de unos 13.000 kilómetros (8.000 millas) y una anchura de norte a sur de 800 a 1.600 kilómetros (de 500 a 1.000 millas). El área total ocupada por la civilización puede haber sido, en este tiempo, de unos diez millones de kilómetros cuadrados (4 millones de millas cuadradas) o aproximadamente 1/12 del área terrestre del planeta.

Además, las unidades políticas con el tiempo tendían a aumentar a medida que los seres humanos avanzaban en tecnología y estaban más capacitados para trasladarse, ellos y las mercancías, a distancias cada vez mayores. En el año 200 d. de JC, la parte civilizada del mundo se dividió en cuatro grandes unidades del mismo tamaño aproximadamente.

En el lejano oeste, rodeando el mar Mediterráneo, estaba el Imperio Romano. En el año 116 d. de JC, alcanzó su mayor extensión física y todavía en el año 400 seguía virtualmente intacto. Al este del Imperio Romano, y extendiéndose por lo que ahora es Irak, Irán y Afganistán, se hallaba el Imperio Neopersa, que en el año 226 se fortaleció con la llegada al poder de Ardashir I, fundador de la dinastía Sasánida. Persia logró su mayor prosperidad bajo Cosroes I, aproximadamente el 550, y hacia el año 620, bajo Cosroes II, fue cuando tuvo su mayor territorio durante un tiempo muy breve.

Al sudeste de Asia se hallaba la India, que casi se había unido bajo Asoka, hacia el año 250 a. de JC y que conoció de nuevo un período de esplendor bajo la dinastía Gupta, que comenzó a gobernar en el año 320. Finalmente, al este de la India se extendía China, floreciente bajo la dinastía Han, aproximadamente durante los años 200 a. de JC al 200 d. de JC.

Los bárbaros

Las antiguas guerras entre las ciudades-estado y los imperios provocadas por su agrupamiento en alguna de las regiones dominantes, nunca llegaron a amenazar con una catástrofe. Nunca existió la cuestión de una eliminación total de la especie humana, pues, aun con la peor voluntad del mundo, la Humanidad en aquellos tiempos no tenía poder suficiente para ello.

Resultaba mucho más probable que la destrucción más o menos deliberada de las penosas acumulaciones de los frutos de la civilización, pudiera acabar con aquel aspecto de la aventura humana. (Esto constituiría una catástrofe de quinta clase, cuyo tema ocupará la última parte del libio.)

Sin embargo, mientras la lucha tenía lugar entre dos regiones civilizadas, no era de temer que, como consecuencia, se produjera la destrucción de la civilización en general, por lo menos, no en aquel entonces con el poder de que disponía la Humanidad civilizada.

El propósito de la guerra era aumentar el poder y la prosperidad del vencedor que

fijaba un tributo a recibir del vencido. Para que el conquistador recibiera ese tributo, era necesario que el conquistado se quedara con una parte suficiente que le permitiera hacer frente a la carga. No era provechoso destruir más allá del límite para dar una lección al vencido.

Naturalmente, cuando el conquistado sobrevive para dar testimonio, sus quejas por la crueldad y la rapacidad del conquistador son fuertes, y, sin duda, también justificadas, pero los vencidos sobrevivían para quejarse, y con frecuencia, sobrevivían con bastante fuerza para poder arrojar al conquistador y convertirse a su vez en vencedores (tan crueles y rapaces como el anterior).

Así, en conjunto, el área de la civilización aumentaba continuamente, que es la mejor indicación de que las guerras, a pesar de ser crueles e injustas para los individuos, no amenazaban con poner fin a una civilización. Podríamos afirmar, en verdad, que los ejércitos en marcha y el efecto no intencionado al margen de sus actividades, propagaba la civilización; y el estímulo de las necesidades producto de la guerra aceleraba las innovaciones y activaba el progreso de la tecnología humana.

Sin embargo, existía otro tipo de arte militar que era más peligroso. En los tiempos antiguos cada región civilizada estaba rodeada por áreas menos avanzadas cuyos habitantes han sido llamados «bárbaros». (La palabra es de origen griego y se refiere únicamente al hecho de que los extranjeros hablaban con sonidos incomprensibles, cuya fonética a los griegos les parecía como «bar-bar-bar». Los griegos llamaron bárbaros a cualquier otra civilización que no fuese la suya. La palabra ha venido a significar gente incivilizada, sin embargo, con una fuerte connotación de crueldad bestial.) Los bárbaros solían ser «nómadas» (de un vocablo griego que significa «ir errante»). Sus posesiones eran escasas y consistían principalmente en rebaños de animales, con los que viajaban de un terreno a otro cuando las estaciones cambiaban. Sus normas de vida parecían primitivas y pobres comparadas con los hábitos de la ciudad; y, naturalmente, carecían de los atractivos culturales de la civilización.

En comparación, las regiones civilizadas eran ricas con su acumulación de comida y mercancías. Esa acumulación representaba una tentación para los bárbaros que no veían mal alguno en apoderarse de ella, si podían. A menudo, no les era posible. Las regiones civilizadas estaban organizadas, y eran populosas. Sus ciudades se encontraban amuralladas para defenderse y normalmente sabían mucho más el arte de la guerra. Con un gobierno fuerte, solían mantener a raya a los bárbaros.

Por otro lado, las gentes civilizadas, habiéndose afincado, solían permanecer inmóviles en sus ciudades, mientras que los bárbaros gozaban de movilidad. Podían efectuar incursiones con sus camellos o a caballo, retirándose para volver a la carga a los pocos días. Las victorias contra los bárbaros no eran dignas de mención, y nunca (hasta los tiempos relativamente modernos), decisivas.

Además, muchas de esas poblaciones civilizadas no estaban preparadas para la guerra. La buena vida, al estilo de los pueblos civilizados, con frecuencia provoca cierta falta de tolerancia para las tareas arriesgadas e incómodas del soldado. Esto significa que no se podía contar con una gran mayoría de esas personas civilizadas. Una partida relativamente pequeña de bárbaros podía encontrar en la población de una ciudad, poco más que víctimas indefensas, si el ejército civilizado, por alguna razón determinada, fuese derrotado.

Cuando el gobierno débil de una región civilizada permitía la decadencia de su ejército, o, cuando, peor todavía, la región entraba en una guerra civil, era inmediata una incursión triunfal de los bárbaros (1).

El dominio de los bárbaros era mucho peor que la rutina guerrera entre las civilizaciones, puesto que aquéllos, poco conocedores de la mecánica de la civilización, no comprendían el valor de conservar a sus víctimas para obtener provecho de ellas. Su impulso era simplemente el de saquear destruyendo sin miramientos lo que no podía ser utilizado en aquel momento. En semejantes condiciones, con frecuencia se producía un altibajo en la civilización de una determinada área, por lo menos durante algún tiempo. Seguía un «período oscuro».

El primer ejemplo de una incursión bárbara y un período oscuro, siguieron, naturalmente, no mucho después de nuestro primer ejemplo de un conquistador. Sargón *el Grande,* sus dos hijos, su nieto y su bisnieto, gobernaron sucesivamente un próspero imperio sumerio-akkadiano. Sin embargo, en el año 2219 a. de JC cuando terminó el gobierno del bisnieto, la decadencia del Imperio había llegado a tal punto que los bárbaros gutian del nordeste constituyeron un problema importante. Hacia el 2180 a. de JC, los gutian controlaban el valle del Tigris-Éufrates y a continuación siguió un «período oscuro» que se prolongó durante un siglo.

Los bárbaros resultaban especialmente peligrosos cuando disponían de alguna arma de combate, con la que, por lo menos durante algún tiempo, eran invencibles. Así, aproximadamente el año 1750 a. de JC las tribus del Asia Central implantaron el carro de combate tirado por caballos con el que barrieron las tierras establecidas del Medio Oriente y Egipto, consiguiendo un dominio total durante cierto período de tiempo.

Por suerte, las invasiones bárbaras nunca consiguieron eliminar totalmente la civilización. Los «períodos oscuros», aun en sus momentos más sombríos, nunca llegaron a ser totalmente negros, y no hubo bárbaro que no fuese conquistado por el atractivo de la civilización de los conquistados, aunque se tratara de una civilización decadente y destruida. Los conquistadores se volvían civilizados por consiguiente (y, a su vez, poco aptos para la guerra), y finalmente la civilización progresaba otra vez, logrando casi siempre nuevos niveles.

Otras veces era una región civilizada la que obtenía un nuevo ingenio de guerra y se convertía en invencible. Así sucedió cuando comenzó a fundirse el hierro en el este del Asia Menor, en el año 1350 a. de JC aproximadamente; poco a poco, el hierro se hizo más común y su calidad mejoró comenzándose a fabricar las armas y armaduras de hierro. Cuando los ejércitos asirios estuvieron completamente «aherrojados», por expresarlo de alguna manera, se inició una dominación del Oeste de Asia occidental que duró tres siglos.

Para nosotros, los occidentales, el mejor ejemplo de una invasión bárbara y un «período oscuro», es la que puso fin al Imperio Romano de Occidente. Desde el año 166 d. de JC el Imperio Romano, habiendo superado ya la época expansionista de su historia, luchó para defenderse de las invasiones de los bárbaros. Una y otra vez, Roma se tambaleaba, recuperando después el terreno perdido bajo el firme gobierno de sus emperadores. Pero en el año 378 d. de JC, los hunos, en una gran batalla vencieron, a los romanos en Adrianópolis, y las legiones romanas quedaron destruidas para siempre. A partir de entonces, Roma consiguió mantenerse durante otro siglo contratando mercenarios bárbaros para que lucharan en su ejército contra otros bárbaros.

Poco a poco, las provincias occidentales cayeron bajo el dominio de los bárbaros y se destruyeron los hábitos de la civilización. También Italia cayó bajo el dominio bárbaro, y en 476 el último emperador romano que gobernaba Italia, Rómulo Augusto, fue destituido. Siguió un «período oscuro» de cinco siglos y no fue hasta el siglo XIX cuando la vida en Europa Occidental recuperó el bienestar que había gozado bajo el dominio de los romanos.

Sin embargo, aunque nos referimos veladamente a este «período oscuro» post-romano como si el mundo civilizado hubiese estado al borde de su destrucción, el fenómeno fue puramente local, confinado a lo que ahora es Inglaterra, Francia, Alemania, y, hasta cierto punto, España e Italia.

En la difícil época del año 850, cuando había fracasado el intento de Carlomagno por restaurar la unidad y la civilización en la Europa Occidental y la región sufría los ataques de los nuevos incursores bárbaros, los escandinavos del Norte y los magiares del Este, y también de los árabes civilizados del Sur, ¿cuál era la situación en el resto del mundo?

1. El Imperio bizantino, superviviente de la mitad oriental del Imperio romano, era poderoso todavía, y su civilización se mantenía en línea directa desde la antigua Grecia y Roma. Más todavía, por aquel entonces estaba propagándose entre los bárbaros eslavos, acercándose a una era de nuevo poder bajo la dinastía macedonia, linaje de emperadores

guerreros.

2. El Imperio abasí, representante de la nueva religión islámica, que había absorbido el Imperio persa y las provincias sirias y africanas del Imperio romano, estaba en el apogeo de su prosperidad y civilización Su monarca más importante, Mamún *el Grande* (hijo del famoso Harún al Raschid de las Mil y Una Noches) había muerto el año 833. El independiente reino musulmán de España estaba también en su más alto grado de civilización (civilización muy superior, de hecho, a la que España tendría en los años que siguieron).

3. La India, bajo la dinastía gurjara-prathihara, era fuerte, y su civilización continuó intacta.

4. China, aunque políticamente caótica en esa época, había alcanzado un alto nivel de cultura y civilización que había propagado con éxito al Japón y a Corea.

En otras palabras, el área total de la civilización estaba expandiéndose todavía y únicamente en el lejano oeste quedaba una región que quizá no llegaba a representar más del 7% del área total de la civilización.

Aunque las incursiones bárbaras del siglo v ensombrecen tan lúgubremente nuestros libros de Historia occidental, causaron poco daño a la civilización considerada como conjunto; siglos después se produjeron otras incursiones bárbaras que fueron mucho más amenazadoras. Nuestro desconocimiento de los últimos bárbaros proviene del hecho de que aquellas regiones de la Europa Occidental que sufrieron tantas pérdidas en el siglo v, padecieron mucho menos siglos después.

Durante todo el curso de la Historia, las estepas del Asia Central habían producido jinetes intrépidos que virtualmente vivían en sus monturas (1). En los años de prosperidad, y con suficiente lluvia, los rebaños y los nómadas se multiplicaban, y en los años que siguieron de sequía, los nómadas sacaron sus rebaños de las estepas y los condujeron en todas direcciones, embistiendo los baluartes civilizados desde la China a Europa.

Por ejemplo, en lo que ahora es Ucrania, al sur de Rusia, hubo una sucesión de tribus diferentes, cada una de ellas sustituida por una nueva ola procedente de Este. En la época del Imperio asirio los cimerianos estaban al norte del mar Negro. Fueron expulsados por los escitas en el año 700 a. de JC, y éstos, por los sármatas, el 200 a. de JC, y los últimos, por los alanos, aproximadamente el 100 a. de JC.

Aproximadamente el año 300 d. de JC aparecieron los hunos por el Este, y fueron los más terribles invasores del Asia Central llegados hasta aquel entonces. De hecho, fue su llegada la que impulsó a los bárbaros germanos hacia el Imperio romano. Los germanos no pretendían la conquista de territorios: simplemente huían.

El año 451, Atila, el más poderoso de los monarcas del pueblo huno, llegó hasta Orleáns, en Francia, cerca de cuya ciudad libró una dura batalla contra el ejército aliado de romanos y germanos. Orleáns fue lo más lejos que las tribus del Asia Central llegaron en su penetración hacia el Oeste. Atila murió al año siguiente y su imperio se desmoronó casi inmediatamente después.

Siguieron los avaros, los búlgaros, los magiares, los kazares, los patzinaks, y los cumanos que dominaron Ucrania hasta el año 1200. Cada nuevo grupo de bárbaros establecía reinados que son más impresionantes en el mapa de lo que eran en realidad, puesto que cada uno de ellos consistía en una población relativamente pequeña que dominaba a un grupo mayor. El grupo menor acababa siendo dominado por otro grupo pequeño procedente del Asia Central, o bien se integraba en el grupo dominado y se civilizaba, normalmente ambas cosas.

El año 1162, nació en el Asia Central Temujin. Muy lentamente consiguió hacerse con el poder de una de las tribus mogolas del Asia Central, y otra después, hasta que, el año 1206, cuando tenía cuarenta y cuatro años de edad, fue proclamado Gengis-Khan («rey muy poderoso»).

Gengis Khan se convirtió en el gobernante supremo de los mongoles, los cuales, bajo la nueva dirección, perfeccionaron su estilo de lucha. Su fuerte era la movilidad. A caballo de sus esforzados *ponies,* de los que raramente desmontaban, devoraban millas, atacando en

lugares y en momentos inesperados, asaltos demasiado rápidos para preparar un contraataque, y se alejaban como un torbellino antes de que el sorprendido enemigo pudiera movilizar sus fuerzas lentas e inexpertas para el contraataque.

Hasta aquel momento, los mongoles no habían demostrado su invencibilidad porque luchaban principalmente entre ellos y no habían tenido un jefe que supiera cómo utilizar su potencia. Sin embargo, bajo la jefatura de Gengis-Khan, cesaron todos los conflictos civiles, encontrando en él su jefe militar. De hecho, Gengis-Khan figura entre los más célebres guerreros que la Historia registra. Únicamente se le pueden comparar Alejandro Magno, Aníbal, Julio César y Napoleón, y es posible que entre todos ellos Gengis-Khan sea el mejor. Convirtió a los mongoles en la máquina militar más extraordinaria que el mundo había visto hasta entonces. El terror que su nombre provocaba llegó a tal extremo que la simple noticia de su llegada bastaba para paralizar a los que estaban en su camino, haciendo imposible cualquier resistencia.

Antes de su muerte, en 1227, Gengis-Khan había conquistado la mitad norte de China y el Imperio, en lo que ahora es la República Popular de Mongolia. Entrenó a sus hijos y sus generales para continuar las conquistas, lo que éstos hicieron. Su hijo, Ogadei Khan, le sucedió en el gobierno, y bajo su mandato fue conquistado el resto de China. Entretanto, al mando de Batu, un nieto de Gengis-Khan, y Subutai, el más famoso de sus generales, los ejércitos mongoles avanzaban hacia el Oeste.

El año 1223, mientras Gengis-Khan vivía todavía, una incursión mogola hacia el oeste había derrotado a un ejército combinado ruso-cumano, pero solo se trataba de una incursión. En 1237, los mongoles penetraron en Rusia. En 1240, habían tomado su capital, Kiev, y virtualmente toda Rusia quedó bajo su control. Avanzaron hasta Polonia y Hungría, y en 1241, derrotaron a un ejército germano-polaco, en Liegnitz. Efectuaron incursiones en Alemania y hacia el Adriático. Parecía que nada podía resistirles, y ahora, contemplándolo desde nuestra perspectiva, no parece haber razón alguna para suponer que no hubiesen podido llegar en su avance hasta el océano Atlántico. Lo que detuvo a los mongoles fue la noticia de la muerte de Ogadei Khan y la necesidad de elegir un sucesor. Los ejércitos se marcharon, y aunque Rusia continuó bajo el dominio de los mongoles, los territorios al oeste de Rusia quedaron libres. Habían sufrido un importante golpe, pero eso fue todo.

Durante los remados de los sucesores de Ogadei, Hulagu, otro nieto de Gengis-Khan, conquistó lo que ahora es Irán, Irak y Turquía Oriental. En 1258 tomó Bagdad. Finalmente, Kublai Khan (también nieto de Gengis) subió al trono en 1257, y durante un período de treinta y siete años, gobernó sobre un imperio mongol que incluía China, Rusia, las estepas del Asia Central y el Oriente Medio. Fue el mayor imperio terrestre que jamás había existido, y desde entonces, tan sólo el Imperio ruso, y la Unión Soviética, su continuadora, han podido rivalizar con aquél.

El Imperio mongol fue construido de la nada por tres generaciones de gobernantes durante un período de medio siglo.

Si alguna vez la civilización fue sacudida de arriba abajo por las tribus de los bárbaros, fue en esta ocasión. (Un siglo después, surgió la muerte negra, nunca se había visto un final igual.)

Sin embargo, tampoco los mongoles, a fin de cuentas, representaron una amenaza. Sus guerras de conquista habían sido sangrientas y crueles, es cierto, deliberadamente planeadas para acobardar a sus enemigos y víctimas, pues los mongoles eran demasiado escasos en número para poder gobernar un imperio tan vasto, a menos que los habitantes fuesen sometidos por el terror.

Se dice que la intención inicial de Gengis-Khan era llegar más lejos. Gengis-Khan quería destruir las ciudades y convertir las regiones conquistadas en tierras de pasto para los rebaños nómadas.

Es dudoso que hubiera podido hacer esto, o que no se hubiera dado cuenta muy pronto del error en este tipo de proceder, aunque lo hubiese iniciado. Sin embargo, nunca lo intentó.

Al ser un genio militar, aprendió rápidamente el valor de la técnica castrense civilizada y creó sistemas para utilizar las complicadas tecnologías necesarias para poner sitio a las ciudades, para escalar y derribar muros, y así sucesivamente. Sólo hay un paso en distinguir el valor de la civilización en relación con las artes de la guerra y en distinguir el valor de la civilización igualmente en las artes de la paz.

Sin embargo, *se llevó a cabo* una destrucción inútil. El ejército de Hulagu, después de apoderarse del valle del Tigris-Éufrates, destruyó desenfrenadamente la intrincada red de canales de irrigación que todos los conquistadores anteriores habían respetado, conservando la zona como un próspero centro de civilización durante cinco mil años. El valle del Tigris-Éufrates se convirtió en la región atrasada y empobrecida que es hoy todavía (1).

A pesar de ello, los mongoles fueron gobernantes relativamente inteligentes, no mucho peores que los que los habían precedido, y hasta mejores en algunos casos. Kublai Khan, en particular, fue un gobernante inteligente y humano bajo cuyo mandato una gran parte de Asia conoció una época de esplendor, como nunca había gozado, ni tendría nuevamente hasta (si nos extendemos un poco) el siglo XX. Por primera y única vez, el vasto continente euroasiático estuvo bajo un control unitario desde el mar Báltico hasta el golfo Pérsico, y hacia el este, en un amplio camino hasta el Pacífico.

Cuando Marco Polo, visitó Catay, procediendo del pequeño territorio que se denominaba a sí mismo «Cristiandad», quedó sorprendido y atónito, y a su regreso, la gente de su país no quiso creer sus descripciones cuando Marco Polo las escribió narrando fielmente la verdad.

De la pólvora a las bombas nucleares

Sin embargo, no fue mucho tiempo después de las invasiones de los mongoles cuando el equilibrio de la lucha entre los granjeros ciudadanos y los bárbaros nómadas, pareció inclinarse de manera aparentemente definitiva. La aparición de un avance militar proporcionó a la civilización una superioridad sobre los bárbaros que éstos nunca lograron superar. Los mongoles han sido llamados por tanto «los últimos bárbaros». La invención fue la pólvora, una mezcla de nitrato de potasio, azufre y carbón de leña que, por primera vez, colocó un explosivo en manos de la Humanidad (1). Fue necesario crear una industria química muy avanzada para fabricar pólvora, de la que carecían las tribus bárbaras.

Al parecer, la pólvora tuvo su origen en la China, pues ya en el año 1160 se utilizaba para fuegos de artificio. Quizá fueron las invasiones mogolas, que con su vasto imperio abrieron un camino para el comercio, las que primero trajeron a Europa el conocimiento de la pólvora (2).

Sin embargo, en Europa la pólvora pasó de los fuegos de artificio a un mecanismo propulsado. En lugar de arrojar piedras por medio de catapultas, utilizando madera tensada o correas retorcidas en donde almacenar la fuerza impulsora, la pólvora podía introducirse en un tubo cerrado (un cañón), dejando un lado abierto. La bola de cañón que había de lanzarse se colocaba en el extremo abierto y la explosión de la pólvora le proporcionaba el impulso.

Algunas ejemplos primitivos de tales armas se utilizaron en diversas ocasiones durante el siglo XIV, muy notablemente en la batalla de Crécy, cuando los ingleses derrotaron a los franceses en los primeros tiempos de la Guerra de los Cien años. Sin embargo, los cañones utilizados en Crécy, eran relativamente inútiles, y la batalla fue decidida por los arqueros ingleses, cuyas flechas eran mucho más mortíferas que el cañón. Realmente, fue el arco el señor del campo de batalla (en las ocasiones en que fue utilizado), durante otros ochenta años. El arco ganó la batalla de Azincourt para los ingleses, en 1415, contra un ejército francés muy superior en número, y una victoria final para los ingleses en Verneuil, el año 1424.

Sin embargo, los progresos con la pólvora y las mejoras en los diseños y fabricación de los cañones, permitieron poco a poco disponer de buena artillería que causara estragos entre el enemigo sin matar a los que disparaban. En la última mitad del siglo XV, la pólvora dominaba el campo de batalla, y así permaneció durante cuatro siglos más.

Los franceses desarrollaron la artillería, principalmente para enfrentarse al arco, y los

ingleses, que habían pasado ochenta años imponiéndose con sus arcos a los franceses, fueron expulsados de nuevo en veinte años con la artillería francesa. La artillería, además, contribuyó grandemente a terminar con el feudalismo en la Europa Occidental. Las bolas de cañón no sólo podían derribar los muros de los castillos y de las ciudades con suma facilidad, sino que además el gobierno central podía construir y mantener un tren elaborado de artillería, de modo que los grandes nobles se vieron forzados poco a poco a ceder ante el rey.

Esta artillería significaba que, de una vez por todas, la amenaza de los bárbaros había llegado a su fin. No había caballos, por veloces que fuesen, ni lanzas, por seguras que fuesen, que pudieran competir con la boca del cañón.

Europa se sentía todavía amenazada por aquellos a quienes complacía en llamar bárbaros, pero que eran tan civilizados como los europeos (1).

Los turcos, por ejemplo, que fueron los primeros en penetrar en el reino del Imperio abasí, como bárbaros, en el año 840, habían colaborado en provocar su desintegración (que los mongoles completaron) y habían sobrevivido al Imperio mongol, que se había dividido en partes decadentes poco después de la muerte de Kublai Khan.

Durante el proceso se habían civilizado y conquistado el Asia Menor y zonas del Próximo Oriente. En 1345, los turcos (cuyo reino fue conocido como el Imperio otomano) cruzaron los Balcanes y se establecieron en Europa, de donde nunca fueron expulsados por completo. En 1453, los otomanos conquistaron Constantinopla y pusieron punto final a la historia del Imperio romano, consiguiéndolo con la ayuda de la mejor artillería poseída hasta entonces por ningún poder europeo.

Las conquistas de Tamerlán (que afirmaba ser descendiente de Gengis-Khan) parecían, entretanto, haber restablecido el esplendor de los mongoles, y desde 1381 hasta 1405, Tamerlán ganó batallas en Rusia, en Oriente Medio y en la India. De espíritu nómada, utilizó las armas y la organización de las regiones civilizadas que gobernaba y (excepto por una incursión breve y sangrienta en la India) nunca salió de los límites de los reinos que previamente habían sido conquistados por los mongoles.

Después de la muerte de Tamerlán, le tocó el turno, finalmente, a Europa. Con la pólvora y la brújula náutica, los navegantes europeos comenzaron a recorrer las costas de todos los continentes, para ocupar y poblar aquellos que eran en buena parte bárbaros; para dominar los que estaban avanzados en civilización. Durante un período de quinientos cincuenta años, el mundo comenzó a ser cada vez más europeo. Y cuando la influencia europea empezó a disminuir, la causa fue que las naciones no europeas se europeizaron, por lo menos en las técnicas del arte militar, aunque sólo fuese en eso.

Por consiguiente, con los mongoles terminó cualquier posibilidad (que nunca fue grande) de la destrucción de la civilización por las invasiones de los bárbaros.

Sin embargo, mientras la civilización se defendía contra la barbarie, las guerras entre los poderes civilizados crecieron en salvajismo. Ya antes de la invención de la pólvora, hubo ocasiones en que la civilización parecía hallarse en peligro de suicidio, por lo menos en algunas zonas. En la Segunda Guerra Púnica (218-201 a. de JC), el general cartaginés Aníbal asoló Italia durante dieciséis años, e Italia necesitó mucho tiempo para recuperarse. La Guerra de Los Cien Años entre Inglaterra y Francia (1338-1453) amenazó con reducir Francia a la barbarie, y la Guerra de los Treinta Años (1618-1648) finalmente añadió la pólvora a los horrores anteriores y eliminó la mitad de la población alemana. Sin embargo, estos conflictos bélicos se desarrollaban en zonas restringidas, y por mucho que Italia o Francia o Alemania pudieran salir perjudicadas en este o aquel siglo, la civilización, como un todo, continuaba su progreso.

Más tarde, cuando la era de las exploraciones amplió el dominio europeo por todo el mundo, las guerras europeas comenzaron a involucrar continentes lejanos, y se inició la era de las guerras mundiales. La primera guerra que puede ser considerada como mundial, en el sentido de que los ejércitos luchaban en diferentes continentes y en el mar, cuya lucha de un modo u otro estaba relacionada entre sí, fue la Guerra de los Siete Años (1756-1763). En esta

guerra, Prusia y Gran Bretaña, por un lado, lucharon contra Austria, Francia, Rusia, Suecia y Sajonia. Las batallas más cruentas tuvieron lugar entre Austria y Prusia y ésta tenía pocas probabilidades de vencer. Sin embargo, Prusia estaba gobernada por Federico II *(el Grande),* el último monarca legítimo que fue un genio militar, y éste resultó vencedor (1).

Sin embargo, los británicos y los franceses estaban luchando mientras tanto en América del Norte, lucha que se inició en 1755. El escenario de las batallas fue el oeste de Pensilvania y Quebec.

En el Mediterráneo se desarrollaban batallas navales entre Gran Bretaña y Francia, y también frente a la costa francesa en Europa, y la costa de la India en Asia. Gran Bretaña también luchaba contra los españoles en el mar frente a Cuba y las Filipinas, al mismo tiempo que luchaba en tierra contra los franceses en la India. (Gran Bretaña resultó vencedora, arrebatando el Canadá a los franceses, y consiguiendo un puesto indiscutible en la India.)

Hasta el siglo XX, las guerras no fueron por lo menos tan lejos, aunque no más, que la Guerra de los Siete Años, pero su intensidad fue mucho mayor. En la Primera Guerra Mundial, se desarrollaron grandes batallas en tierra desde Francia hasta el Oriente Medio, y en extensas zonas del Norte de África y el Lejano Oriente, con combates navales y aéreos en zonas mucho más extensas y a escala mucho más amplia. No fue únicamente esa ampliación en la escala de actividades la que amenazó a la civilización, sino el nivel creciente de la tecnología, que continuamente hacía más destructivas las armas utilizadas en la guerra.

El reinado de la pólvora terminó a finales del siglo XIX, con la aparición de los explosivos de elevada potencia destructora, como el TNT, la nitroglicerina y la dinamita. La guerra hispano-americana del año 1898 fue la última lucha de cierta importancia en la que se utilizó la pólvora. Comenzaron a construirse barcos blindados y de mayor envergadura. Barcos que, además, transportaban cañones más potentes. La Primera Guerra Mundial introdujo el uso de tanques y aviones y gases tóxicos. La Segunda Guerra Mundial introdujo la bomba atómica. Desde la Segunda Guerra Mundial se han estado desarrollando los proyectiles balísticos intercontinentales, los gases nerviosos, los rayos láser y las armas de guerra biológica.

Hay que tener en cuenta, que aunque las guerras se extendieron mucho más y las armas destructoras se hicieron más poderosas, el nivel de inteligencia de los generales no se elevó. De hecho, a medida que la complicación y el poder de destrucción de las armas aumentaba, que el número de combatientes crecía, y la dificultad de las operaciones combinadas ampliadas a zonas mucho más extensas se multiplicaba enormemente, resultaba mucho más difícil poder contar con personas eficientes capaces de tomar decisiones rápidas e inteligentes, y los generales cada vez fueron menos solicitados. No es que los generales se hubiesen vuelto más tontos, sino que lo parecían en relación al nivel de inteligencia requerido.

La Guerra de Secesión norteamericana se vio grandemente perjudicada por la incompetencia de algunos generales, aunque este perjuicio quedó reducido a nada en comparación con los daños causados en la Primera Guerra Mundial por los generales incompetentes, y otra vez, estos daños fueron mínimos comparados con algunos de los errores fatales de la Segunda Guerra Mundial.

Por tanto, la norma de que el arte de la guerra civilizada no destruirá la civilización, dados que ambos, vencedores y vencidos, están interesados en salvar los frutos de la civilización, ya no tiene vigencia.

En primer lugar, el poder destructor de las armas se ha intensificado hasta tal punto que su utilización completa no sólo puede destruir la civilización, sino, inclusive, la propia Humanidad; en segundo término, la incapacidad normal de los jefes militares para realizar su tarea hoy día, puede llevar a cometer errores tan enormes que lleguen a destruir la civilización, y hasta la Humanidad, aunque nadie tuviera intención de llegar tan lejos. Nos enfrentamos, finalmente, con la auténtica catástrofe de cuarta clase, aquélla que, de manera razonable, podemos temer: que por alguna razón estalle y prosiga una guerra mundial termonuclear insensatamente, hasta el extremo del suicidio humano.

Esto podría ocurrir, pero, ¿sucederá?

Supongamos que los líderes mundiales, políticos y militares, tengan sentido común y mantengan un control seguro sobre los arsenales nucleares. En ese caso no existirá la posibilidad de la guerra atómica. Ya han sido utilizadas con rabia dos bombas nucleares: una sobre Hiroshima, Japón, el 6 de agosto de 1945, y otra sobre Nagasaki, Japón, dos días después.

Eran las dos únicas bombas que existían en aquella época y la intención era poner fin a la Segunda Guerra Mundial. Se logró terminar la guerra, pues en esa época no había ninguna posibilidad de un contraataque nuclear.

Durante cuatro años, los Estados Unidos fueron los únicos poseedores de un arsenal atómico, pero no se les brindó una ocasión de verdad para utilizarlo, ya que todas las crisis que hubieran podido provocar una guerra, como el bloqueo soviético de Berlín en 1948, pudieron superarse o neutralizarse sin necesidad de usarlo.

Más tarde, el 29 de agosto de 1949, la Unión Soviética hizo estallar su primera bomba atómica, y a partir de aquel momento quedó la posibilidad de una guerra con armas nucleares en ambos bandos: una guerra que no ganaría ninguno de los contendientes, circunstancia que los dos bloques conocen perfectamente.

Fallaron los esfuerzos llevados a cabo para conseguir una superioridad razonable en caso de guerra. Ambos bandos consiguieron, en 1952, la bomba de hidrógeno, mucho más peligrosa, ambos lados crearon proyectiles balísticos y satélites, ambos bloques mantuvieron un refinamiento constante de su armamento en general.

En consecuencia, una guerra entre los superpoderes estaba fuera de toda posibilidad. El peor momento de una crisis amenazadora de guerra ocurrió en 1962, cuando la Unión Soviética colocó proyectiles balísticos intercontinentales en Cuba, a ciento cincuenta kilómetros de la costa de Florida, de modo que los Estados Unidos estaban bajo la amenaza de un ataque nuclear desde poca distancia, a la que respondieron imponiendo un bloqueo naval y aéreo sobre Cuba y declarando un ultimátum a la Unión Soviética para que se llevara los cohetes de Cuba. Durante los días 22 al 28 de octubre de 1962, el mundo estuvo más cerca que nunca de una guerra atómica.

La Unión Soviética cedió y retiró los misiles. En correspondencia, los Estados Unidos, que en 1961 habían apoyado un intento para expulsar al gobierno revolucionario de Cuba, aceptaron la no intervención en la política de Cuba. Ambos bandos cedieron un poco en su actitud, cosa inimaginable en tiempos prenucleares.

Otro caso, los Estados Unidos estuvieron luchando durante diez años en el Vietnam y finalmente aceptaron una humillante derrota antes que recurrir al empleo de armas nucleares que hubieran destruido inmediatamente al enemigo. Del mismo modo, China y la Unión Soviética no quisieron intervenir directamente en la guerra, y se contentaron con ayudar al Vietnam desde lejos para no provocar a los Estados Unidos a dar un paso temerario en el terreno atómico.

Por último, en las repetidas crisis en Oriente Medio, en las que los Estados Unidos y la Unión Soviética se han situado en bandos opuestos, ninguna de los dos superpoderes ha intentado intervenir directamente. De hecho, no se ha permitido que las guerras del estado-cliente continuaran hasta el punto de que uno u otro lado se viera forzado a una intervención directa.

En resumen, desde que las armas nucleares han surgido en escena, hace ya casi cuatro décadas, nunca (excepto por las protoexplosiones en Hiroshima y Nagasaki) han sido utilizadas en la guerra y los dos superpoderes han tenido extremo cuidado en evitar su uso.

Si esta actitud continúa, no seremos destruidos por una guerra nuclear, pero, ¿continuará? Después de todo, existe una proliferación nuclear. Además de Estados Unidos y la Unión Soviética, Gran Bretaña, Francia, China y la India han fabricado armas atómicas. A este grupo podrían añadirse otros, y quizá sea inevitable que así ocurra. ¿Podría un poder menor iniciar una guerra nuclear?

Si suponemos que los gobernantes de los poderes menores tienen también sentido común, es difícil creer que lo hagan. Poseer bombas atómicas es una cosa; poseer un arsenal lo suficientemente importante para evitar una aniquilación rápida y segura por parte de uno u otro de los superpoderes, es otra muy distinta. De hecho, es probable que cualquiera de los poderes menores que hiciera el menor gesto indicativo de su intención de utilizar una bomba nuclear, tendría inmediatamente en contra a ambos superpoderes.

Sin embargo, ¿hasta cuándo podemos confiar en el sentido común de los líderes mundiales? En el pasado, las naciones han estado regidas por personalidades psicópatas, y cabe, incluso, que un gobernante normalmente sensato, en un arrebato de ira y desesperación, no se muestre del todo racional. Es fácil imaginar a alguien, como Adolfo Hitler, ordenando un holocausto nuclear si la única alternativa que le quedaba era la destrucción de su propio poder, aunque también podemos imaginar que sus subordinados se negaran a cumplir sus órdenes. En honor a la verdad, algunas de las órdenes que Hitler dio durante los últimos meses de su mandato *no* fueron cumplidas por sus generales y administradores.

No obstante, hoy día hay algunos gobernantes cuyo fanatismo pudiera impulsarles a apretar el botón nuclear, si lo tuvieran a su disposición. La cuestión es que no disponen de él, y sospecho que el mundo en general los tolera precisamente porque no tienen ese poder.

¿Es que sería posible que, aunque todos los líderes políticos y militares conservaran su sano juicio, el arsenal nuclear escapara de su control y se iniciara una guerra atómica por la decisión demencial causada por el pánico de un subordinado? O, peor todavía, ¿podría iniciarse a través de una serie de pequeñas decisiones, cada una de ellas como única respuesta posible al movimiento del enemigo, hasta que, finalmente, se desencadenara una guerra atómica sin que nadie lo haya deseado y todos confiaran desesperadamente en que no estallaría? (La Primera Guerra Mundial tuvo lugar en condiciones semejantes.)

Y lo peor, ¿sería posible que las condiciones de vida mundiales estén tan deterioradas que una guerra nuclear sea la única alternativa preferible a no hacer nada?

No existe duda alguna de que la única manera segura de evitar una guerra atómica, consiste en destruir todas las armas nucleares. Es posible que el mundo llegue a esa decisión antes de que se produzca una guerra nuclear de proporciones catastróficas.

QUINTA PARTE

CATÁSTROFES DE QUINTA CLASE

Capítulo XIV

EL AGOTAMIENTO DE LOS RECURSOS

Artículos renovables

En los dos capítulos precedentes hemos decidido que la única catástrofe de cuarta clase que puede afectarnos es una guerra mundial termonuclear, suficientemente intensa y prolongada para destruir toda la vida humana, o dejando unos restos ínfimos de humanidad cuyas extraordinarias condiciones de miseria sólo puedan presagiar su probable extinción.

Si esto sucediera, es posible que también otras formas de vida pudieran extinguirse, pero quizá los insectos, la vegetación, los microorganismos, etc., consigan sobrevivir y repoblar el mundo e impulsar un nuevo florecimiento del que renacería como planeta habitable hasta el momento (suponiendo que llegue) en que evolucione una especie inteligente más sana.

Hemos dicho que son pocas las posibilidades de que se recurra algún día a una guerra atómica intensa y prolongada. A pesar de ello, el desencadenamiento de una violencia en menor grado bastaría también para destruir la civilización, aunque la Humanidad sobreviviera. Ésa sería una catástrofe de quinta clase, la menos decisiva entre las expuestas en este libro, pero suficientemente drástica.

Supongamos ahora que la guerra, y también esa violencia en menor grado, se convierten en cosa del pasado. Quizá no podamos tener muchas esperanzas al respecto, pero tampoco es imposible. Supongamos que la Humanidad decide que la guerra es un suicidio y no tiene ningún sentido; que el sistema para zanjar disputas, para corregir las injusticias que provocan luchas de guerrillas y terrorismo, sin recurrir a la guerra, ha de ser una acción común racional, una acción eficaz para desarmar y contener a los intransigentes insatisfechos con la situación racional (según la define el sentido común de la Humanidad). Supongamos, además, que la colaboración internacional es tan estrecha, que se traduce en una forma de gobierno mundial federalizada que puede llevar a cabo una acción común cuando se trata de grandes problemas y grandes proyectos.

Esto puede parecer extraordinariamente idealista, un sueño de cuento de hadas, pero, supongamos que se haga realidad. La cuestión, en este caso, es como sigue: garantizada la paz y la colaboración en el mundo, ¿estamos seguros para siempre? ¿Continuaremos mejorando nuestra tecnología hasta que sepamos cómo evitar la próxima era glacial, dentro de 100.000 años y controlar la temperatura de la Tierra a nuestra conveniencia? ¿Seguiremos por aquel entonces mejorando nuestra tecnología a medida que salgamos al espacio y seamos totalmente independientes tanto de la Tierra como del Sol, de modo que podamos marcharnos sencillamente cuando llegue el momento en que el Sol se convierta en gigante rojo dentro de siete mil millones de años a partir de ahora (suponiendo que no nos hayamos ido mucho antes)? ¿Continuaremos después mejorando nuestra tecnología hasta que sepamos cómo sobrevivir en un Universo en contracción o la entropía en su punto máximo sobreviviendo incluso al Universo? O ¿existirán todavía peligros horribles, próximos y cercanos, o por completo inevitables, incluso en un mundo totalmente pacífico?

Puede existir. Consideremos, por ejemplo, el asunto del avance de nuestra tecnología. En el desarrollo de este libro he dado como seguro que la tecnología puede avanzar, y avanzará, indefinidamente mientras posea la oportunidad; no existen límites naturales, puesto que el saber no tiene límites y puede ampliarse indefinidamente. Pero, ¿no tendrá esa tecnología algún precio? ¿No habrá unas condiciones que debamos cumplir? Si así fuese, ¿qué sucedería si, de repente, somos incapaces de pagar el precio? ¿O de cumplir las condiciones?

El éxito de la tecnología depende de la explotación de diversos recursos extraídos de nuestro medio ambiente, y cada avance tecnológico supone un aumento en la proporción de

esa explotación, al parecer. En este caso, ¿cuánto tiempo durarán esos recursos?

Contando con la presencia de la radiación solar durante los próximos miles de millones de años, muchos de los recursos de la Tierra son renovables indefinidamente. Las plantas verdes utilizan la energía solar para convertir el agua y el dióxido de carbono en la propia sustancia de su tejido, descargando en la atmósfera el oxígeno sobrante. Los animales dependen del mundo vegetal para su alimento, que combinan con oxígeno para formar el agua y el dióxido de carbono.

Este ciclo de alimento y oxígeno (al que pueden añadirse algunos minerales esenciales para la vida) continuará mientras exista la luz del Sol, en potencia por lo menos, y, desde el punto de vista humano, tanto el alimento que comemos como el oxígeno que respiramos son indefinidamente renovables.

También algunos aspectos del mundo inanimado son renovables por tiempo ilimitado. El aguas fresca, de consumo constante y precipitándose sin descanso hacia el mar, queda renovada por la evaporación de los océanos por medio del calor solar y por la precipitación en forma de lluvia. El viento durará mientras la Tierra reciba calor desigual del Sol, las mareas tendrán su flujo y reflujo mientras la Tierra describa su órbita con respecto a la Luna y el Sol, y así sucesivamente.

Todas las formas de vida que no son humanas se mantienen a través de los recursos renovables. Los organismos individuales pueden morir a causa de carestías temporales y localizadas de comida o agua, a causa de temperaturas extremas, o por la presencia y actividad de depredadores, o, simplemente, por la vejez. Especies completas pueden morir por un cambio genético, o por no poder soportar cambios menores en su ambiente, o por ser sustituidas por otras especies con más capacidad de supervivencia en uno u otro sentido. Sin embargo, la vida continúa porque, gracias al ciclo interminable de los recursos renovables, la Tierra continúa siendo habitable.

Únicamente la vida civilizada de los seres humanos depende de los recursos no renovables, y, por consiguiente, tan sólo los seres humanos corren el riesgo de haber creado un tipo de vida en el que algo que se ha convertido en esencial, puede, de manera más o menos repentina, dejar de estar presente. Esta desaparición puede representar un desequilibrio suficiente para terminar con la civilización humana. En este caso la Tierra podría ser habitable y adecuada para la vida, pero no apta para una tecnología avanzada.

Sin duda alguna, en los medios de la tecnología debieron intervenir recursos renovables. Las primeras herramientas debieron de ser aquellas que tenían a mano. La rama caída de un árbol puede ser utilizada como garrote, al igual que el hueso de la extremidad de un animal grande. Estos recursos son ciertamente renovables. Siempre hemos podido contar con nuevas ramas y con nuevos huesos.

Cuando los seres humanos comenzaron a arrojar piedras, tampoco cambió la situación. Las piedras no son renovables en el sentido de que se formen nuevas en un tiempo que resulta muy breve comparándolo con el de la actividad humana, pero las piedras no se consumen al ser arrojadas. La piedra que se ha arrojado puede recogerse y ser lanzada de nuevo. La situación cambió ligeramente cuando las piedras fueron trabajadas para darles forma, talladas, rascadas o picadas, para crear un filo o una punta y ser utilizadas como cuchillos, hachas, lanzas o puntas de flecha.

Por último, algo que no sólo no es renovable, sino que, además, es consumible. Cuando las piedras puntiagudas o afiladas se embotan, pueden afilarse una o dos veces más, pero pronto serán demasiado pequeñas para ser útiles a su propósito. Por lo general, las piedras nuevas han de afilarse. Y aunque las piedras siempre están presentes, las grandes rocas se convierten en pequeñas de las cuales sólo se aprovecha una parte. Además, algunas rocas sirven mejor como herramientas cortantes que otras. Por consiguiente, los seres humanos tuvieron que empezar la búsqueda de pedernal con una avidez muy parecida a la empleada en la búsqueda del alimento.

Sin embargo, existía una diferencia. El nuevo alimento crecía constantemente, ya que

incluso las peores sequías o carestías tenían un fin. Sin embargo, cuando se consumía un depósito de pedernal, se agotaba para siempre sin posibilidad de renovación.

Mientras la piedra fue el principal recurso inanimado de la Humanidad (Edad de Piedra), no hubo el temor de que se agotara por completo: la cifra de seres humanos que existían era demasiado pequeña para hacer mella en el suministro.

Y lo mismo sucedía con otras variedades de mineral: la arcilla para la loza, el ocre para la pintura, el mármol o la piedra caliza para la construcción, la arena para el cristal, y así sucesivamente.

El auténtico cambio llegó con el uso de los metales.

Los metales

La propia palabra «metal» se deriva de un vocablo griego que significa «buscar, procurar». Los metales que en nuestros días se utilizan para fabricar herramientas y en la construcción, representan tan sólo una sexta parte del peso de las rocas que componen la corteza terrestre, y la casi totalidad de esa sexta parte no es aparente, ya que la mayor parte de los metales existen en combinación con silicona y oxígeno, o con carbón y oxígeno, o con sulfuro y oxígeno, o únicamente con sulfuro, formando «menas» cuya apariencia y propiedades son muy parecidas a las rocas.

Son pocos los metales que no formen parte de un compuesto y existan en forma de pepitas. Entre los últimos figuran el cobre, la plata y el oro, a los que podemos añadir pequeñas cantidades de hierro meteórico Tales metales libres son muy raros.

El oro representa únicamente un 1/200.000.000 de la corteza terrestre, siendo uno de los metales más raros, pero, por presentarse casi por completo en forma de pepitas de color amarillo sorprendente y bello, fue, probablemente, el primer metal que se descubrió. Era pesado, bastante brillante para servir de adorno, y suficientemente blando para ser batido dándole formas interesantes. Y con la cualidad superior de su permanencia, pues no se oxidaba ni deterioraba.

Los seres humanos debieron de comenzar a trabajar el oro ya en el año 4500 a. de JC. El oro, y en menor grado la plata y el cobre, eran apreciados a causa de su belleza y rareza y se convirtieron en un medio adecuado de intercambio y una manera fácil de acumular riqueza. Aproximadamente el año 640 a, de JC, los lidios del Asia Menor inventaron la moneda, fragmentos de una aleación de plata y oro de un peso determinado, estampados con un sello gubernamental que garantizaba su autenticidad.

Por lo general, la gente ha confundido la conveniencia del oro como un medio de intercambio de valor intrínseco, y nada ha sido buscado con tanto empeño o ha producido tanto gozo al conseguirse. Sin embargo, el oro no tiene en absoluto una utilización a gran escala.

El encuentro de una nueva cantidad de oro aumenta el suministro mundial y, como consecuencia, le hace perder algo de su valor principal: la rareza.

En consecuencia, cuando España se apoderó del oro acumulado por los aztecas y los incas, no fue más rica por ello. La abundancia de oro en Europa hizo disminuir su valor, lo que significaba que los precios de todos los restantes productos aumentaban continuamente en relación con el precio del oro, y se produjo inflación. España, con una economía débil, y obligada a adquirir un gran número de productos del extranjero, se encontró con que debía entregar cada vez más oro para adquirir una cantidad menor de mercancías.

Sin embargo, la ilusión de la riqueza producida por el oro impulsó a España a comprometerse en guerras interminables en el continente europeo, guerras que no podía sostener y que la llevaron a la bancarrota de la que nunca se recobró, mientras otras naciones que tenían una economía en desarrollo, y no oro, se enriquecían.

Durante la Edad Media fracasó el ávido empeño de convertir en oro otros minerales

menos valiosos, pero hubiese sido una tragedia el que dicho intento hubiera tenido éxito. El oro habría perdido rápidamente su valor y la economía europea se hubiera visto en serias dificultades, de las que le habría costado mucho tiempo salir.

No obstante, otros metales que poseen un valor intrínseco, por su utilidad en la fabricación de herramientas y estructuras, son, a diferencia del oro, mucho más útiles en proporción al aumento de su campo de aprovechamiento. Cuanto menor es su coste, y, por tanto, mayor el provecho que puede obtenerse de esa materia, tanto mayor es también la cantidad que puede utilizarse, mayor la economía y más elevado el nivel de vida.

Sin embargo, para que los metales se popularizaran era necesario que los seres humanos tuvieran algo más que las pepitas halladas por casualidad aquí y allá. Había que descubrir algún método para extraer los metales de sus depósitos; o separar los átomos metálicos en combinación con átomos metálicos de otros elementos. Este desarrollo de la «metalurgia» ya debió de tener lugar en el año 4000 a. de JC en Oriente Medio, siendo el cobre el primer elemento extraído de su mena.

El año 3000 a. de JC aproximadamente, se descubrió que algunas menas que contenían cobre y arsénico, presentaban una aleación mucho más dura y resistente que el cobre solo. Éste fue el primer metal que consiguió ser utilizado para algo más que adorno: el primero que pudo ser aprovechado para herramientas y armaduras siendo un avance sobre la piedra.

Trabajar con menas que contienen arsénico no es una ocupación muy segura y probablemente el envenenamiento por arsénico fue la primera «enfermedad industrial» que castigó a la Humanidad. Sin embargo con el tiempo se descubrió que si la mena de estaño se mezclaba con la de cobre, se obtenía una aleación de cobre-estaño, o «bronce», que era tan buena como la aleación de cobre-arsénico de preparación mucho más segura.

Hacia el año 2000 a. de JC, la variedad cobre-estaño era de uso corriente y en el Oriente Medio comenzó la «Edad del Bronce». Las reliquias más notables que tenemos de ese tiempo son las epopeyas de Homero, La Ilíada y La Odisea, en las que los guerreros pelean con armaduras de bronce y lanzas con punta de bronce.

La mena de cobre no es corriente y las civilizaciones que utilizaron abundantemente el bronce agotaron los suministros nativos al cabo de poco tiempo y se vieron obligados a importar ese mineral del extranjero. La situación con la mena de estaño resultó peor todavía. El cobre no es precisamente un componente común de la corteza terrestre, pero el estaño escasea más todavía. De hecho, la cantidad de estaño presente es de 1/15 parte la de cobre. Esto significa que aproximadamente el año 2500 a. de JC cuando el cobre podía hallarse todavía en algunos lugares de Oriente Medio, el suministro local de estaño ya se había agotado por completo.

Ésta fue la primera vez en la historia que los seres humanos tuvieron que enfrentarse al agotamiento de un recurso natural; no un agotamiento temporal, como la comida en tiempo de sequía, sino un agotamiento permanente. Las minas de estaño estaban agotadas y nunca podrían llenarse de nuevo.

A menos que los seres humanos se conformasen a salir del paso únicamente con el bronce del que disponían, había que encontrar nuevos suministros de estaño en algún otro lugar. La búsqueda continuó en zonas cada vez más amplias, y hacia el año 1000 a. de JC los navegantes fenicios habían abierto rutas por todo el mar Mediterráneo y descubierto las «Islas del Estaño». Algunos creen que se trata de las islas Scilly, frente a la punta sudoeste de Cornualles.

Entretanto, hacia el 1300 a. de JC se había desarrollado en el Asia Menor una técnica para obtener hierro de sus menas. El hierro se mantenía unido más firmemente junto a los otros átomos que el cobre o el estaño y era más difícil extraerlo de la mena. Requería temperaturas más elevadas y la técnica de utilizar carbón de leña para su extracción tardó mucho tiempo en desarrollarse.

El hierro meteórico era mucho más duro y resistente que el bronce, pero el hierro de las menas era quebradizo y de poca utilidad. La razón estribaba en que el hierro meteórico

tenía añadida una mezcla de níquel y cobalto. Sin embargo, el hierro de menas en ocasiones resultaba satisfactorio en cuanto a dureza y resistencia. Esto no sucedía a menudo, pero sí con la frecuencia suficiente para que los metalúrgicos se dedicaran a extraer hierro fundido. Con el tiempo se descubrió que añadiendo carbón de leña al hierro, siguiendo cierto procedimiento, aquél se endurecía. Producía lo que hoy llamaríamos una superficie acerada.

Hacia el 900 a. de JC, los fundidores de hierro aprendieron el procedimiento y comenzó la Edad de Hierro. Inmediatamente dejó de ser importante la escasez de cobre y la penuria todavía mayor de estaño.

Éste es un ejemplo de cómo los seres humanos han manejado el agotamiento de los recursos a través de la Historia. En primer lugar, han ampliado la búsqueda para nuevos suministros (1), y en segundo lugar, han encontrado sustitutivos.

A través de la Historia, y desde el descubrimiento de la metalurgia, el empleo de los metales ha ido en aumento, y en proporción continuamente acelerada. En el siglo XIX se descubrieron nuevos métodos para la fabricación de acero, y se utilizaron algunos metales desconocidos para los antiguos, como el cobalto, el níquel, el vanadio, el niobio y el tungsteno para ser mezclados con el acero y formar nuevas aleaciones de metal de inigualable dureza o sorprendentes propiedades. Se desarrollaron métodos para obtener aluminio, magnesio y titanio, metales que también han sido utilizados en gran escala para la construcción.

Actualmente, los seres humanos se enfrentan con el agotamiento de muchos metales a escala mundial, lo que significa también la desaparición de diversas facetas de nuestra civilización tecnológica. Hasta los antiguos metales se han destinado a nuevos usos que no podríamos abandonar fácilmente. Ni el cobre ni la plata se necesitan para adornar, ni para fabricar moneda, pero hasta ahora el cobre ha sido esencial en nuestras grandes instalaciones eléctricas, puesto que no hay sustancia tan útil como el cobre para la conducción de la electricidad, mientras que los compuestos de plata son esenciales en fotografía. (Sin embargo, el oro, hasta hoy, ha seguido sin poseer una utilidad a gran escala.)

¿Qué podemos hacer entonces a medida que las minas se agotan, no solamente en una u otra zona, sino en todo el Globo terráqueo? Al parecer, no habiendo metal disponible, a la Humanidad no le queda otra alternativa sino abandonar una parte tan importante de su tecnología que la civilización sufriría un colapso total, aunque el mundo estuviera en paz y bajo un gobierno planetario humano.

Algunos de nuestros metales importantes están a punto de agotarse, según algunas estimaciones, dentro de un cuarto de siglo. Entre ellos se halla el platino, la plata, el oro, el estaño, el cinc, el plomo, el cobre y el tungsteno. ¿Significa esto que el colapso de la civilización está a punto de llegar?

Quizá no. Siempre se encuentran caminos para salir al paso de ese agotamiento.

En primer lugar, está la conservación. Muchas veces, cuando el material está presente en abundancia, se utiliza con fines no esenciales, superficialmente, para dar una apariencia, para la moda. Un objeto fabricado con ese material, cuando se rompe, es sustituido antes que remendarlo o repararlo. De hecho, puede ser remplazado, aunque esté en perfectas condiciones para su cometido, simplemente porque algo nuevo concede mayor status y prestigio que una cosa vieja. Muchas veces se introducen a propósito cambios triviales y calculados para inducir a la sustitución en una proporción superior a lo que sería necesario teniendo en cuenta tan sólo su uso, o meramente para seguir los dictados de la moda.

El economista americano, Thorstein Veblen (1857-1929), inventó la frase «consunción manifiesta», el año 1899, para describir este método de utilizar los desperdicios como una señal de éxito social. Esta consunción manifiesta ha formado parte de las costumbres de la sociedad humana desde tiempos prehistóricos. Sin embargo, hasta épocas recientes únicamente era prerrogativa de unos pocos miembros de la alta sociedad aristocrática y los artículos que éstos despreciaban eran aprovechados por sus subordinados.

No obstante, en los últimos tiempos, a medida que se introducía la técnica de la producción en masa, se ha hecho posible que la consunción manifiesta fuese también

prerrogativa de la población en general. En realidad, en todas las épocas se ha considerado que el desperdicio era un medio necesario para estimular la producción y conservar una economía saneada.

A pesar de este criterio, a medida que los suministros de algunos artículos disminuyen, aumentará el estímulo de conservación de uno u otro modo. Los precios se acrecentarán inevitablemente en marcada desproporción con las ganancias. De esta manera, las personas que no dispongan de grandes ingresos se verán obligadas a conservar, y el desperdicio será de nuevo prerrogativa únicamente de los ricos.

Si los numerosos pobres se rebelan y alzan su voz contra ese desperdicio en el que ellos no pueden participar, quizá se establezca un nuevo sistema social de racionamiento. También esto puede conducir a algunos abusos, pero, de cualquier manera, la disminución de los suministros durarán algo más de lo que lo harían probablemente a juzgar tan sólo por los hábitos sociales de prosperidad.

Segunda alternativa, sustitución: un metal muy corriente puede ser sustituido por otro que lo es menos. Así, las monedas de plata han sido remplazadas por las de níquel o de aluminio. Los metales, en general, pueden ser sustituidos por materias no metálicas, como plástico o cristal.

Como ejemplo, se pueden utilizar rayos de luz, en vez de corrientes eléctricas para transmitir mensajes; y además, hacerlo con mucha mayor eficacia. Estos rayos de luz podrían transmitirse a través de hebras de cristal tan finas como un cabello. Esos filamentos podrían sustituir las innumerables toneladas de cobre que ahora se utilizan para las comunicaciones eléctricas, y siendo la arena el origen del cristal, es un recurso de difícil agotamiento.

Tercera, nuevos recursos: aunque pareciera que todas las minas se habían agotado, la realidad es que se habrían agotado todas las minas terrestres que nosotros conocemos. Podrían hallarse nuevas minas, aunque esto cada vez se hace más improbable a medida que una mayor parte de la superficie terrestre se examina cuidadosamente para descubrir nuevas minas.

Además, ¿qué es lo que en realidad queremos decir con el término «agotado»? Cuando nos referimos a una mina, estamos hablando de una porción de la corteza en la que un metal determinado está presente en concentraciones que permiten una extracción rentable. Sin embargo, con una tecnología más avanzada se han descubierto métodos por los que ciertos metales pueden ser extraídos provechosamente, incluso en aquellos casos en que las concentraciones son tan pequeñas que en el pasado no hubiera existido ningún método práctico de explotación. En otros términos, ahora existen minas que antiguamente no se hubieran considerado como tales.

Este proceso puede continuar. Aun cuando un determinado metal pueda estar agotado considerando las minas que ahora conocemos, queda la posibilidad de que se descubran nuevas minas, siempre que seamos capaces de explotarlas, aunque el metal esté presente en bajas concentraciones.

Queda también la alternativa de recurrir al mar. Existen zonas en el fondo del mar con un grueso recubrimiento de nódulos metálicos. Se estima que hay unas 11.000 toneladas métricas de tales nódulos por kilómetros cuadrados en el suelo del océano Pacífico. De estos nódulos pueden extraerse, con relativa facilidad, diversos metales, incluyendo algunos muy útiles, cuya escasez va en aumento, como el cobre, el cobalto y el níquel, una vez dragado el fondo del mar. En la actualidad se están planeando operaciones de dragado sobre una base experimental.

Y si hablamos del fondo del mar, ¿por qué no del propio mar? El agua de mar tiene todos los elementos, normalmente en concentraciones muy bajas, ya que la lluvia que cae de la tierra extrae un poco de cada materia en su camino de regreso al mar. Por el momento, del agua de mar se puede obtener con facilidad magnesio y bromo, de manera que no es fácil que en un futuro previsible se agoten los suministros de estos dos elementos.

Como consecuencia de la inmensidad del océano, la cantidad total de cualquier metal en solución en el agua marina será sorprendentemente elevado, aunque la solución sea muy

diluida. El mar tiene un 3,5 % de materia disuelta, de manera que cada kilómetro cuadrado de agua de mar contiene 36 toneladas métricas de sólidos disueltos, dicho de otro modo, cada tonelada métrica de agua de mar contiene 35 kilogramos (77 libras) de sólidos disueltos.

De los sólidos disueltos en el agua de mar, un 3,69 % es magnesio y un 0,19 % bromo. Una tonelada métrica de agua de mar contendría, por tanto, 1,29 kilogramos (2,84 libras) de magnesio y 66,5 gramos (2,33 onzas) de bromo (1). Considerando que en la Tierra hay 1.400.000.000.000.000 toneladas métricas de agua, podemos hacernos una idea de la cantidad total de magnesio y bromo disponibles (sobre todo teniendo en cuenta que todo lo que se extrae probablemente será arrastrado de nuevo al mar).

También un tercer elemento, el yodo, se obtiene también del agua del mar. El yodo es un elemento relativamente raro. Una tonelada métrica de agua del mar contiene solamente unos 50 miligramos (1/600 onza), cantidad demasiado pequeña para ser extraída por los métodos químicos corrientes. Sin embargo, existen algunos tipos de algas marinas que absorben el yodo del agua de mar incorporándolo a su tejido. El yodo puede obtenerse de las cenizas de las algas.

¿No sería posible extraer otros elementos valiosos del agua del mar si se desarrollasen técnicas capaces de concentrar su contenido a menudo muy escaso? El océano contiene, en conjunto, unos ciento cincuenta mil millones de toneladas métricas de aluminio, cuatro mil quinientos millones de toneladas métricas de cobre y cuatro mil quinientos millones de toneladas métricas de uranio. También contiene trescientos veinte millones de toneladas métricas de plata, 6,3 millones de toneladas métricas de oro, y hasta 45 toneladas métricas de radio.

Esos elementos están allí. La cuestión es cómo conseguir extraerlos.

Podríamos también trasladarnos fuera de la Tierra. Aunque no hace muchos años la idea de extraer minerales de la Luna (o de los asteroides) hubiera parecido propia únicamente de las historias de ciencia-ficción, en la actualidad hay muchas personas que opinan no es impracticable. Si los fenicios viajaron hasta las islas del Estaño en busca de metales escasos, nosotros podemos ir hasta la Luna. Probablemente, la tarea de extraer minerales de la Luna no sería más difícil para nosotros que lo fue para los fenicios el extraer minerales de las Casitérides.

Por último, habiendo repasado toda la lista de las nuevas fuentes de suministro, hasta podríamos decir que en realidad no necesitamos de ninguna de ellas. Los ochenta y un elementos que poseen variedades estables del átomo son indestructibles en circunstancias normales. Los seres humanos no las consumen, simplemente las transportan de un lugar a otro.

Los procesos geológicos, en un trabajo de miles de millones de años, han concentrado un determinado elemento, incluyendo, naturalmente, los diversos metales, en esta o aquella región. Lo que los seres humanos están haciendo, con rapidez creciente, es extraer los metales y otros elementos deseados de esas regiones en donde se concentran, y distribuirlos más ampliamente, de manera más uniforme, y más débilmente, y los mezclan unos con otros.

Pero los metales continúan estando presentes, aunque se hallan esparcidos, desgastados y combinados con otros materiales. En verdad, los cementerios de desperdicios de la Humanidad constituyen un gran depósito de los diversos elementos que ha estado utilizando, en una forma u otra, y desechado. Con las técnicas adecuadas, podrían recuperarse y ser utilizados de nuevo.

Por tanto, en teoría no podemos agotar enteramente los diversos elementos, o, en un sentido más amplio, ninguna sustancia, ya que todas las sustancias que no son elementos están formadas por elementos.

Pero no es únicamente la amenaza de un agotamiento exhaustivo la que pesa sobre los recursos que estamos utilizando, incluso aquellos recursos vitales de los que depende toda la vida, incluyendo la vida humana. Aunque esos recursos no se agoten por completo, y quizá nunca lleguen a gastarse, nuestras actividades pueden convertirlos en inútiles. Podremos

disponer todavía de esos recursos, pero no nos servirán para nada.

Contaminación

En realidad, los objetos materiales no se desgastan por entero; lo que se hace simplemente es reordenar los átomos. Lo que se utiliza se convierte en algo diferente, de modo que para cada consunción existe una producción equilibrada.

Si consumimos oxígeno, producimos dióxido de carbono. Si consumimos alimentos y agua, producimos sudor, orina y heces. Por lo general, no podemos aprovechar los productos que desechamos. No podemos respirar con provecho el dióxido de carbono ni comer o beber desperdicios.

Afortunadamente, el mundo de la vida es una unidad ecológica y lo que para nosotros son productos de desecho, resulta materia útil para otros organismos. El dióxido de carbono es esencial para el funcionamiento de las plantas verdes, y en el proceso de su utilización las plantas producen y expelen oxígeno. Los desechos que nosotros producimos pueden ser, y son, descompuestos y utilizados por una gran variedad de microorganismos, y los residuos pueden ser aprovechados por las plantas, de manera que mediante este proceso el agua se purifica y se producen alimentos. Lo que la vida desecha la vida reproduce de nuevo, en un vasto ciclo, una y otra vez. Podríamos llamarlo proceso de «reciclaje».

Eso es un hecho, incluso en ciertos aspectos del mundo de la tecnología humana. Por ejemplo, si los seres humanos queman madera, no hacen sino lo que el rayo lleva a cabo en la Naturaleza. La quema de madera por manos humanas entra en el ciclo de la quema de madera por el rayo. Durante centenares de miles de años que el ser humano ha utilizado el fuego, ese uso fue insignificante comparado con el fuego del rayo, de modo que la actividad humana de ninguna manera podía desequilibrar el ciclo.

Examinemos también la utilización de utensilios de piedra. Significa un cambio constante de rocas grandes que se convierten en pequeñas. Una roca demasiado grande se divide en fragmentos utilizables, y cada uno de esos fragmentos puede dividirse todavía en piezas más pequeñas, astilladas, laminadas o desmenuzadas al darle la forma de una herramienta. Con el tiempo, esa herramienta perderá su utilidad al usarse en piezas más pequeñas que embotarán su filo o alterarán su forma.

También este proceso es natural, puesto que la acción del viento, el agua y los cambios de temperatura sirven para que gradualmente la roca se disgregue y se convierta en arena. La acción geológica puede conglomerar de nuevo pequeños fragmentos de piedra. Este ciclo de grandes pedazos de roca convertidos en pequeños, y revertiendo más tarde nuevamente a su tamaño mayor, requiere un período muy dilatado de tiempo. Por tanto, según las normas humanas, los pequeños fragmentos de roca inútiles son productos inevitablemente desperdiciados en la manufactura de herramientas, y no reciclables.

Cualquier cosa inútil y no reciclable, producto de la actividad humana, se ha designado últimamente con el término «contaminación». Los pequeños fragmentos de piedra eran inútiles, despreciados y molestos. Sin embargo, corno contaminación eran relativamente benignos. Podrían ser apartados a un lado sin dificultad y no perjudicaban. Sin embargo, también los productos de desecho que son reciclados eficazmente por la Naturaleza pueden llegar a representar una contaminación, siempre que dentro de una zona restringida y con poco tiempo, excedan de la capacidad del ciclo. Por ejemplo, cuando los seres humanos quemaban madera, producían cenizas. Éstas, al igual que las piedras pequeñas, podían apartarse y no molestaban, o molestaban muy poco. La combustión producía también unos vapores, en su mayor parte dióxido de carbono y vapor de agua, que por sí mismos no perjudicaban. Entre los vapores había cantidades menores de otros gases irritantes para los ojos y la garganta, partículas de carbón sin quemar que ensuciaban de hollín las superficies, y otras partículas diminutas perjudiciales. Los vapores más esos constituyentes menores creaban un humo

visible.

Al aire libre, ese humo se dispersaba rápidamente en concentraciones demasiado pequeñas para resultar molestas. Hemos de tener en cuenta que existen en nuestra atmósfera 5.100.000.000.000.000 toneladas métricas de gases y el humo de todos los fuegos de la Humanidad primitiva (incluyendo también el de los incendios forestales producidos por el rayo) quedaban diluidos en la insignificancia cuando se dispersaban en ese inmenso depósito. Una vez dispersados, los procesos naturales reciclaban las sustancias contenidas en el humo y retornaban las materias primas utilizables por las plantas para convertirse de nuevo en madera.

¿Qué sucedía, sin embargo, cuando se mantenía un fuego en una habitación, para proporcionar luz, calor, cocinar y dar seguridad? Dentro de esa habitación se acumulaba el humo en alta concentración, sucia, maloliente y activamente irritante, mucho antes de que el proceso de reciclaje pudiera ni tan siquiera iniciarse. El resultado era insoportable, y el humo de un fuego de leña fue, con toda seguridad, el primer ejemplo de un problema de contaminación producido por la tecnología humana.

Podían darse diversas respuestas. En primer lugar, se podía suprimir totalmente el fuego, lo que era probablemente inimaginable incluso en la Edad de Piedra. En segundo término, podía utilizarse el fuego sólo al aire libre, lo que hubiera causado muchas molestias a los seres humanos por diferentes motivos. Tercero, se podía avanzar algo más en la tecnología para contrarrestar el problema de la contaminación, es decir, podían proyectarse el equivalente de una chimenea (probablemente un simple agujero en el techo, para empezar). La tercera alternativa fue la solución escogida.

Naturalmente, es probable que cada avance tecnológico correctivo produzca nuevos problemas por sí mismo, y el proceso puede resultar interminable. Cabe entonces preguntarse en qué punto exacto del proceso de la tecnología ésta presenta un efecto al margen incorregible. Por ejemplo, ¿podría la contaminación hacerse tan extensa que cualquier corrección estuviera más allá de nuestras posibilidades, y, por tanto, arruinara nuestra civilización en una catástrofe de quinta clase (o incluso destruir la vida en una catástrofe de cuarta clase)?

Los viejos fuegos de leña han incrementado su número al aumentar la población. Con el avance de la tecnología, se han añadido nuevos fuegos, quema de grasas, carbón, petróleo y gas, y el total de fuego que se consume aumenta constantemente cada año.

Todos los fuegos, de una u otra manera, requieren una chimenea, y el humo de todos ellos es descargado a la atmósfera. En estos momentos, esto significa que aproximadamente quinientos millones de toneladas de contaminantes en forma de gases irritantes y partículas sólidas están siendo descargadas en el aire cada año. La atmósfera, en su conjunto, durante las últimas décadas se ha estado ensuciando perceptiblemente a medida que la tecnología comienza a sobrecargar el ciclo.

Como es natural, esa contaminación es mucho peor en las zonas pobladas, sobre todo en las industrializadas, en donde actualmente tenemos un problema de smog (smoke más fog) (1). De vez en cuando, una capa de inversión (una capa superior de aire frío que aprisiona una capa inferior de aire más caliente durante varios días de una vez), impide la dispersión de los contaminantes y el aire se vuelve peligroso sobre una zona determinada. En 1948, en Donora, Pensilvania, se registró un smog criminal que mató a veintinueve personas como consecuencia directa. Esto ha sucedido también en diferentes ocasiones, en Londres y en otros lugares. Y aunque a veces no cause la muerte directa, siempre queda una incidencia a largo plazo de enfermedades pulmonares en las zonas polucionadas, que pueden producir hasta cáncer pulmonar.

Por consiguiente, ¿es posible que nuestra tecnología nos proporcione una atmósfera irrespirable en un próximo futuro?

La amenaza está presente, pero la Humanidad no se encuentra desamparada. Durante las primeras décadas de la revolución industrial, las ciudades yacían bajo espesas nubes de humo, producto de la combustión del carbón bituminoso. Un cambio al carbón de antracita,

que producía menos humo, mejoró notablemente ciudades como Birmingham, en Gran Bretaña, y Pittsburgh, en Estados Unidos (2).

Existen otras medidas correctoras. Uno de los peligros del humo reside en los compuestos de nitrógeno y azufre que se forman. Para empezar, si se extraen los componentes de nitrógeno y azufre del combustible, o si se precipitan los óxidos fuera del humo antes de que éste sea descargado a la atmósfera, se suprimirán algunos de los peligros de la contaminación del aire. Idealmente, los vapores del combustible deberían estar compuestos por dióxido de carbono y agua. Y nada más. Es posible que podamos lograr este ideal (1).

De repente, podrían presentarse nuevas variedades de contaminación del aire. Una de ellas, cuyo peligro potencial fue reconocido a mediados de la década de 1970, puede surgir con el uso de los carbonos clorofluorados, como el freón. De fácil licuación y completamente no tóxicos, se han estado empleando desde la década de 1930 como refrigerantes (alternadamente en forma de vapor o líquido), para sustituir gases mucho más tóxicos y peligrosos como el amoníaco y el dióxido de azufre. Durante las dos últimas décadas se han venido utilizando como líquido en pulverizadores. Con este sistema, su contenido se convierte en vapor y se esparce en una fina pulverización.

Aunque estos gases no perjudican directamente la vida, en 1976 se presentaron pruebas de que si se desplazan hasta la atmósfera superior, pueden debilitar, e incluso destruir, la capa de ozono existente a unos 24 kilómetros (15 millas) por encima de la superficie terrestre. Esta capa de ozono (una forma activa del oxígeno con moléculas compuestas cada una por tres átomos de oxígeno y no por los dos átomos que forman las moléculas de oxígeno corriente) es opaca a la radiación ultravioleta. Protege la superficie terrestre del energético ultravioleta solar, que es peligroso para la vida. Es probable que sólo cuando los procesos de fotosíntesis de las plantas marinas verdes liberaron suficiente oxígeno para permitir la formación de una capa de ozono, la vida finalmente pudo colonizar la Tierra.

Si la capa de ozono queda muy debilitada por los carbonos clorofluorados, de modo que la radiación ultravioleta del Sol llegue hasta la superficie terrestre con mayor intensidad, aumentará la incidencia del cáncer de piel. Podría ser peor todavía: el efecto de los microorganismos sobre el suelo puede ser drástico, afectando de manera poderosa todo el equilibrio ecológico, manifestándose en forma actualmente imprevisible, pero, con toda seguridad, nada deseable.

Se está discutiendo todavía el efecto sobre la capa de ozono, pero ha disminuido ya el uso de los carbonos clorofluorados en botes pulverizadores, y seguramente habrá que encontrar algún sustitutivo para su utilización en acondicionadores de aire y frigoríficos.

No es sólo la atmósfera la que está expuesta a la contaminación. Está también el agua de la Tierra, o la «hidrosfera». El suministro de agua de la Tierra es enorme y la masa de la hidrosfera es aproximadamente doscientas setenta y cinco veces la de la atmósfera. El océano cubre un área de trescientos sesenta millones de kilómetros cuadrados (140 millones de millas cuadradas) o el 70 °/o de toda el área de la superficie terrestre. El área del océano es aproximadamente cuarenta veces la de los Estados Unidos.

La profundidad media del océano es de 3,7 kilómetros (2,3 millas), de manera que el volumen total del océano es de 1.330.000.000 kilómetros cúbicos (320 millones de millas cúbicas).

Comparemos estas cifras con las necesidades de la Humanidad. Si consideramos la utilización del agua para beber, higiene y lavado, y para usos industriales y agrícolas, el total del agua que se utiliza en el mundo es aproximadamente de 4.000 kilómetros cúbicos (960 millas cúbicas) por año, tan sólo 1/330.000 del volumen del océano.

Con estos datos parecería ridículo hablar de escasez de agua, a no ser por el hecho de que la mayor parte del agua del océano no es aprovechable para el hombre como fuente de agua directa. El océano transportará nuestros navíos, nos ofrecerá recreo y nos suministrará alimentos marinos, pero a causa de su contenido salino no podemos beber su agua. Tampoco podemos utilizarla para lavar, para la agricultura o para la industria. Necesitamos agua pura.

El suministro total de agua pura de la Tierra equivale a 37 millones de kilómetros cúbicos (8,9 millones de millas cúbicas), solamente el 2,7 °/o del suministro total de agua de la Tierra. En su mayor parte está en forma de hielo sólido en las regiones polares y en los picos de las montañas y tampoco es directamente útil para nosotros. Otra importante cantidad se halla en las aguas subterráneas, muy por debajo de la superficie y difícilmente asequible.

Lo que necesitamos es agua líquida pura en la superficie, en forma de lagos, estanques y ríos, y en estas condiciones el suministro de la Tierra equivale a 200.000 kilómetros cúbicos (48.000 millas cúbicas). Esta cifra representa tan sólo el 0,015 % del suministro total de agua de la Tierra, pero, aun así, está unas treinta veces por encima del agua pura que la Humanidad consume en un año.

Evidentemente, la Humanidad no depende de un suministro estático de agua pura. En este caso, y al ritmo actual de consumo, en treinta años agotaríamos todos los recursos hídricos. El agua que utilizamos se recicla naturalmente. De las áreas terrestres pasa al mar, al mismo tiempo que el agua del mar se evapora por la acción solar y produce vapor de agua, que se convertirá en lluvia, granizo o nieve. Estas precipitaciones son virtualmente de agua pura destilada.

Cada año la Tierra recibe unos 500.000 kilómetros cúbicos (120,000 millas cúbicas) de agua fresca en forma de precipitaciones. Como es natural, gran parte de este agua cae directamente a los océanos y una cantidad considerable cae en forma de nieve sobre los casquetes de hielo de la Tierra y sobre los glaciares. La tierra seca y no cubierta por el hielo recibirá, aproximadamente, unos 100.000 kilómetros cúbicos (24.000 millas cúbicas). Buena parte de este agua se evapora antes de ser utilizada, pero unos 40.000 kilómetros cúbicos (9.600 millas cúbicas) vienen a sumarse a los lagos, los ríos y el suelo de los continentes cada año (y en igual cantidad regresa al mar). Este beneficioso suministro de lluvia todavía supera diez veces la cantidad de agua que la Humanidad utiliza.

Sin embargo, la demanda está aumentando con suma rapidez. En los Estados Unidos, el consumo de agua se ha incrementado diez veces durante el presente siglo, y siguiendo a este ritmo, no transcurrirán muchas décadas antes de que la necesidad haga mella en el suministro.

Y tanto más, cuanto que las precipitaciones no se distribuyen de modo uniforme en el espacio o el tiempo. Hay lugares en donde se reciben con exceso y se desperdician, y otros, en cambio, en donde están por debajo del promedio y la población necesita cada gota recibida. Los años secos provocan aridez y el producto de las cosechas desciende notablemente. La verdad es que en este momento el suministro de agua pura alcanza niveles peligrosos de escasez en muchas partes del mundo.

Esto puede ser corregido. Es probable que llegue el momento en que los factores climatológicos sean controlados, y la lluvia se haga caer en aquellas zonas determinadas donde sea necesaria. El suministro de agua líquida y pura puede incrementarse destilando directamente el agua del mar, ahora ya se está haciendo en el Oriente Medio, o quizá por congelación de la sal del agua marina.

El suministro mundial de hielo vuelve al océano principalmente en forma de icebergs que se desprenden de las orillas de las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida. Estos icebergs son grandes depósitos de agua pura que se funden en el océano sin ser aprovechados. Podrían ser arrastrados hacia las costas áridas para ser utilizados allí.

Por otra parte, el agua subterránea que circula por debajo incluso de los desiertos, podría canalizarse de manera eficaz, y las superficies de los lagos y los depósitos podrían cubrirse con finas capas de productos químicos inofensivos para evitar la evaporación.

Por consiguiente, la cuestión del suministro de agua líquida pura no tiene por qué convertirse en un problema grave. Es mucho más peligroso el problema de la contaminación.

Los productos de desecho de todas las criaturas marinas de la Tierra quedan depositados en el agua en donde viven. Estos desechos son diluidos y reciclados por los procesos naturales. Los productos de desecho de los animales terrestres quedan depositados en la tierra, en donde, en su mayor parte, son descompuestos por los microorganismos y

reciclados. Los productos de desecho humanos siguen el mismo ciclo, y también éstos pueden ser reciclados, aunque las grandes concentraciones de población humana tienden a sobrecargar las regiones en donde se hallan las grandes ciudades.

Pero lo que es mucho peor, los productos químicos que la Humanidad industrializada utiliza y produce son arrojados a los ríos y a los lagos, y con el tiempo llegan al mar. En el pasado siglo, los seres humanos han comenzado a utilizar fertilizantes químicos que contienen fosfatos y nitratos en cantidad creciente. Naturalmente, son depositados en la tierra, pero la lluvia arrastra algunos de estos productos químicos hasta los lagos cercanos. Dado que los fosfatos y los nitratos son necesarios para la vida, el crecimiento de los organismos presentes en esos lagos se estimula en alto grado; este proceso se llama «eutroficación» (derivado del griego, y significa «buen crecimiento»).

Esto parece conveniente, pero los organismos cuyo crecimiento se estimula son principalmente las algas y otros organismos unicelulares, que crecen en una proporción extraordinaria, superando a otras formas de vida. Cuando las algas mueren, se descomponen por las bacterias que, en el proceso, consumen buena parte del oxígeno disuelto en los lagos, de modo que los fondos quedan virtualmente sin vida. El lago pierde por ello gran parte de su utilidad como suministrador de pescado, o de agua para beber. La «eutroficación» acelera esos cambios naturales que hacen que un lago se filtre convirtiéndose, en primer lugar, en pantano y después en tierra seca. Lo que normalmente sucedería durante millares de años puede tener lugar en unas cuantas décadas.

Si esto es lo que sucede en el caso de sustancias que son útiles para la vida, ¿qué pasa con los productos tóxicos?

Muchos de los productos químicos producidos por las industrias son venenosos para la vida, y los desperdicios que contienen son arrojados a los ríos o a los lagos. Podría suponerse que allí son diluidos, se vuelven inofensivos y quedan destruidos por los procesos naturales. El problema consiste en que algunos productos químicos siguen causando efectos mortíferos aun después de una gran dilución y los procesos naturales no los destruyen fácilmente.

Aunque los productos químicos muy disueltos no sean directamente perjudiciales, se pueden acumular en algunas formas de vida: las formas simples que absorben el veneno y las formas más complejas que se comen a las formas simples. En ese caso, aunque el agua sea potable, la vida dentro del agua no es comestible. Hoy día, en Estados Unidos, tan industrializados, casi todos los lagos y los ríos están contaminados en algún grado, muchos en grado superlativo.

Naturalmente, todos estos desechos de productos químicos llegan algún día al mar. Podría suponerse que el océano, al ser tan vasto, puede absorber cualquier cantidad de productos de desecho, por indeseables que sean, pero no es así.

Durante el siglo XX, el océano ha tenido que absorber cantidades increíbles de los productos del petróleo y otros desperdicios. El naufragio de petroleros, el lavado de depósitos de petróleo y los productos de desecho de la gasolina utilizada por los automóviles, depositan cada año en el mar de dos a cinco millones de toneladas métricas de petróleo. Los diversos desperdicios de los navíos suman unas tres toneladas métricas por año. Únicamente de los Estados Unidos, el océano recibe anualmente más de cincuenta millones de toneladas métricas de basuras y aguas inmundas. Aunque parte de todo esto no es totalmente peligroso, la cantidad de material que entra en el océano cada año se incrementa.

Las regiones cercanas a las costas continentales son las más gravemente afectadas por la contaminación. Una décima parte del área de las aguas costeras frente a los Estados Unidos, que en el pasado han sido fuente de suministro de los mariscos, ahora no son aprovechables debido a la contaminación.

Por consiguiente, si se prosigue por tiempo indefinido la contaminación del agua, no tan sólo queda amenazado el aprovechamiento de nuestro suministro esencial de agua pura, en un futuro no demasiado lejano, sino también la viabilidad del océano. Si imaginamos un océano tan envenenado en el que no es posible la vida, perderíamos las plantas verdes

microscópicas (plancton) que flotan en o cerca de una superficie y que se encargan en un 80 % de la renovación del oxígeno atmosférico. Es casi seguro que la vida terrestre no podría sobrevivir largo tiempo a la muerte de los océanos.

En resumen, la contaminación del agua podría, llegada a un punto de gravedad, destruir implícitamente la vida de la Tierra y desencadenar una catástrofe de cuarta clase.

Sin embargo, esto no tiene por qué suceder. Antes de depositar en el agua esos desechos peligrosos, podrían ser tratados de modo que perdieran sus efectos mortíferos; ciertos venenos podrían ser declarados ilegales y excluidos de la producción, o ser destruidos cuando se hubieren producido. Cuando en el agua de un lago hubiera «eutroficación», podrían extraerse las algas para suprimir el exceso de nitratos y fosfatos, algas que serían utilizadas en la tierra nuevamente, como fertilizantes.

Y hablando de la tierra, también tenemos productos de desecho sólidos; desperdicios que no entran ni en la atmósfera o la hidrosfera: basura, desechos, detritos. Estos desperdicios han sido producidos por los seres humanos desde el principio de la civilización. Las antiguas ciudades del Oriente Medio acumulaban basura y detritos y construían sus nuevas ciudades encima. Cada antigua ciudad en ruinas está situada sobre su propio montón de desperdicios, y los arqueólogos cavan entre los desechos para recoger datos sobre la vida durante aquellas épocas pretéritas.

En la actualidad, se recogen los productos de desecho sólidos en vehículos de transporte y se trasladan y depositan en zonas en desuso. Por consiguiente, cada ciudad posee unas zonas en donde innumerables automóviles inútiles se están oxidando, y otras zonas en las que las montañas de basura sirven de felices terrenos de caza a miríadas de ratas.

Estos desperdicios continuarán acumulándose indefinidamente, y las grandes ciudades, con sus miles y miles de toneladas de basura a transportar diariamente (más de una tonelada por persona y por año como promedio en las zonas industrializadas), se están quedando sin zonas en donde construir sus montañas de basuras.

Un aspecto grave del problema es que un porcentaje creciente de los desperdicios sólidos no se reciclan fácilmente mediante procesos naturales. Especialmente el aluminio y los plásticos tienen una larga vida. Sin embargo, se pueden desarrollar métodos para su reciclamiento; de hecho, deben ponerse en práctica. Precisamente, son estas concentraciones de desperdicios, como ya he indicado, las que forman una especie de mina de metales usados.

Energía: vieja

Por consiguiente, los problemas de agotamiento de los recursos y contaminación del ambiente tienen la misma solución: reciclaje (1). El conflicto de los recursos es fruto de la explotación del ambiente, y la contaminación, resultado de los retornos al ambiente en cantidades superiores a las que los procesos naturales tienen capacidad para reciclar. La Humanidad ha de acelerar el proceso de reciclaje para poder restablecer los recursos con la misma rapidez con que se consumen y suprimir la contaminación con la misma rapidez con que se produce. Hay que impulsar mayor velocidad al ciclo y, en algunos casos, en dirección diferente a la de la Naturaleza.

Esto requiere tiempo, trabajo y el desarrollo de técnicas de reciclaje nuevas y mejores. Y exige algo más: requiere energía. Se necesita energía para minar el fondo del mar, o para llegar a la Luna, o para concentrar dispersiones finas de elementos, o para formar sustancias complicadas a partir de sustancias simples. Se necesita energía para eliminar desechos indeseables, o para convertirlos en inofensivos, o para recogerlos, o para recuperarlos. Al margen de la seguridad, la inteligencia y las innovaciones que empleemos para acelerar el ciclo con objeto de aumentar los recursos y disminuir la contaminación, la energía es un factor primordial.

Resumiendo, cuando nos referimos a la posibilidad de agotamiento de los recursos en general, podríamos decir que sólo hemos de preocuparnos por la posibilidad de que se agote nuestro suministro de energía. Si contamos con un suministro de energía abundante y continuo, podemos utilizarlo para reciclar nuestros recursos materiales, y nada quedará

exhausto. En cambio, si disponemos de suministros de energía limitados, o si un suministro abundante queda agotado, perdemos un medio para poder manipular nuestro ambiente y perderemos también todos los restantes recursos.

¿Cuál es, por tanto, la situación de la energía?

La mayor fuente de energía en la Tierra es la radiación solar que nos baña constantemente. La vida vegetal convierte la energía de la luz solar en la energía química que almacena en sus tejidos. Los animales, al comer las plantas, crean sus propios depósitos de energía química.

La luz solar se convierte también en formas de energía inanimada. Un calentamiento desigual de la Tierra provoca corrientes en el océano y en el aire, cuya energía puede concentrarse, como en el caso de los huracanes y los ciclones. Por medio de la evaporación del agua del mar y su condensación como lluvia, se produce la energía del agua corriente en la Tierra.

En menor grado, existen también fuentes de energía no solar. Existe el calor interno de la Tierra, que se hace sentir más o menos benignamente, en forma de manantiales de agua caliente y géiseres, y de manera violenta, en forma de terremotos y volcanes. Existe la energía de la rotación de la Tierra que se hace sentir en las mareas. Tenemos la energía de la radiación procedente de otros orígenes, además del Sol (estrellas, rayos cósmicos) y la radiactividad natural de los elementos, como el uranio y el torio, que se encuentran en el suelo.

En su mayor parte, las plantas y los animales utilizan los depósitos de energía química almacenados en sus tejidos, aunque existen unas formas simples de vida que emplean también la energía inanimada, por ejemplo, cuando el polen o las semillas de las plantas son transportadas por el viento.

Así fue también para los seres humanos primitivos. Ellos utilizaron su propia energía muscular, transfiriéndola y concentrándola por medio de las herramientas. Con el uso exclusivo de ruedas, palancas y cuñas movidas por los músculos humanos, se puede conseguir mucho. Las pirámides de Egipto fueron construidas con estos medios.

Incluso antes de la aurora de la civilización, los seres humanos sabían utilizar los músculos de otros animales para economizar su propio esfuerzo. Presentaba diversas ventajas sobre el uso de esclavos humanos. Los animales eran más tratables que los humanos, y los animales podían comer unos alimentos no comestibles para los seres humanos, de modo que no representaban disminución alguna en los suministros de comida. Por último, algunos animales poseen grandes concentraciones de energía que pueden utilizarse mucho más rápidamente de lo que lo harían los humanos.

El animal doméstico de mayor éxito, desde el punto de vista de rapidez y fuerza, quizás era el caballo. Hasta principios del siglo XIX, los humanos no podían viajar por la superficie terrestre a una velocidad mayor que el galope de un caballo, y toda la economía agrícola de una nación como los Estados Unidos dependía del número y de la salud de sus caballos.

También los seres humanos utilizaron fuentes de energía inanimada. Las mercancías se transportaban en balsas río abajo, utilizando la corriente del agua. Las velas aprovechaban el viento que impulsaba un navío contra la corriente. Se empleaban asimismo las corrientes de agua para hacer girar una rueda hidráulica, y también un molino. En los puertos de mar, los navíos aprovechaban las mareas para hacerse a la mar.

Sin embargo, todas estas fuentes de energía eran limitadas. O bien disponían solamente de cierta cantidad de fuerza, como el caballo, o estaban sujetas a fluctuaciones incontrolables, como ocurría con el viento, o bien se hallaban en determinados puntos geográficos, como sucedía con las corrientes rápidas de los ríos.

No obstante, la situación cambió cuando por vez primera los humanos utilizaron una fuente de energía inanimada, disponible en cantidad razonable y por un tiempo razonable, portátil y totalmente controlable: el fuego.

En lo que respecta al fuego, ningún organismo, excepto los homínidos, progresó lo

más mínimo en el camino de utilización del fuego. Ésa es la línea divisoria más relevante entre los homínidos y todos los demás organismos. (Digo homínidos porque el fuego no fue utilizado en principio por el Homo sapiens. Existe evidencia concreta de que el fuego se utilizó en las cuevas de China en donde habitaba la especie de homínidos más primitiva, el Homo erectus, hace por lo menos un millón de años.)

El fuego se produce naturalmente cuando el rayo cae en los árboles; sin duda alguna, la primera utilización del fuego tuvo como origen el fenómeno preexistente. Se salvaron pequeñas fracciones de fuego iniciado por un rayo, alimentándolas con leña y no permitiendo que se extinguieran. Un fuego de campamento perdido significaba una gran molestia, pues era necesario encontrar otro fuego como ignición, y si no se encontraba, la molestia se convertía en desastre.

Probablemente no fue hasta el año 7000 a. de JC cuando se descubrieron métodos para encender un fuego por frotamiento. Se ignora cómo sucedería, ni dónde, ni cuál fue el método que primero se usó, y quizá nunca lo sabremos, pero, por lo menos, sabemos que el descubrimiento lo hizo el Homo sapiens, pues por aquel entonces (y desde mucho antes) era el único homínido que existía.

La leña fue el principal combustible para hacer fuego en los tiempos antiguos y medievales (1). Como otras fuentes de energía, la madera era indefinidamente renovable, pero con una diferencia. Otras fuentes de energía no pueden utilizarse más rápidamente de lo que se renuevan. Los hombres y los caballos se cansan y han de descansar. El viento y el agua poseen un volumen de energía limitado del que no se puede pasar. Éste no es el caso de la madera. La vida vegetal crece sin cesar, y se remplaza, de modo que hasta cierto límite, las depredaciones pueden hacerle bien. La madera puede ser utilizada en una proporción superior al ritmo en que se renueva, y así ha sucedido, en efecto, que los seres humanos han utilizado la madera a cuenta de futuros suministros.

A medida que el uso del fuego se acrecentó, con el aumento de la población y con el desarrollo de una tecnología más avanzada, los bosques en las proximidades de los centros humanos de civilización comenzaron a desaparecer.

No era posible la conservación, pues cada avance tecnológico acrecentaba las necesidades de energía y la Humanidad no estaba dispuesta a abandonar sus progresos tecnológicos. De este modo, la fundición de cobre y estaño requería calor, y eso significaba quemar leña.

La fundición del hierro necesitó de más calor todavía, y la leña no producía una temperatura suficientemente elevada. Sin embargo, si la madera se quemaba en condiciones que no permitían ninguna, o casi ninguna, circulación de aire, el centro de la pila se carbonizaba, convirtiéndose casi en carbón puro («carbón de leña»). Este carbón quemaba mucho más despacio que la madera, casi no producía luz, pero alcanzaba una temperatura más alta que la madera. El carbón hizo posible la fundición de hierro (y suministró el carbón que producía una superficie acerada y dio utilidad al hierro). No obstante, el proceso de la producción de carbón causaba un gran desperdicio de madera.

Los bosques han seguido retrocediendo ante el avance de la civilización, pero, no han desaparecido por completo. Aproximadamente unos diez mil millones de áreas de la tierra firme del Globo, es decir un 30 % del conjunto, están cubiertas de bosques.

Hoy día, naturalmente, se están realizando grandes esfuerzos para conservar los bosques y no se utiliza mayor cantidad de la que puede remplazarse. Cada año se corta el 1 % de la madera de los bosques en desarrollo, lo que significa unos dos mil millones de metros cúbicos de madera. Casi la mitad de este porcentaje se destina principalmente a combustible en las naciones menos desarrolladas del mundo. Es probable que en la actualidad se utilice una cantidad mayor de leña como combustible que en tiempos remotos cuando la madera era mucho más reducida. Los bosques que existen se conservan tan bien (y, a propósito, no es que estén demasiado frondosos), únicamente porque la madera ya no es el combustible y la fuente de energía principales de la Humanidad.

Una gran cantidad de madera formada en las primeras épocas de la historia de la Tierra no se pudrió por completo. Cayó en pantanos y unas condiciones determinadas le despojaron de todos sus átomos dejando únicamente el carbón, que quedó enterrado y comprimido bajo rocas sedimentarias. En el subsuelo existen grandes cantidades de esta especie de madera fosilizada conocida con el nombre de «carbón». Representa un depósito químico de energía producida por la luz del Sol en el transcurso de algunos centenares de millones de años.

Se estima que actualmente quedarán en el mundo, distribuidos por muchas zonas, unos ocho billones de toneladas métricas de carbón. Si efectivamente es así, la provisión de carbón de la Tierra duplica el actual suministro de los organismos vivientes.

En los tiempos medievales ya se quemaba carbón en China. Marco Polo, que visitó la corte de Kublai Khan, en el siglo XIII, informó que como combustible se quemaban unas piedras negras. A partir de entonces comenzó a utilizarse esporádicamente en algunos lugares de Europa, siendo el primero los Países Bajos.

Sin embargo fue en Inglaterra donde el carbón comenzó a ser empleado en gran escala. Dentro de los estrechos confines de ese reino, la reducción de los bosques presentaba un grave problema. No se trataba tan sólo de la creciente dificultad en satisfacer la necesidad de calentar los hogares de Gran Bretaña, cuyo clima estaba muy lejos de ser soleado, con madera procedente de sus propios bosques, satisfaciendo también las necesidades de combustible de su industria en desarrollo, sino que, además, también la Marina inglesa, de la que la nación dependía para su seguridad, necesitaba del preciado combustible.

Por suerte para Inglaterra, se localizó carbón, fácil de obtener, en la zona norte del país. De hecho, se recogió más carbón en Inglaterra que en ninguna otra región de extensión comparable. Hacia 1660, Inglaterra producía dos millones de toneladas de carbón anualmente, más del 80 % de todo el carbón producido en el mundo en esa época, lo que contribuyó enormemente a la conservación de los valiosos bosques cuya escasez iba en aumento. (En la actualidad la producción de carbón en Gran Bretaña es de unos ciento cincuenta millones de toneladas anuales, lo que representa solamente un 5 % de la producción mundial.)

La utilidad del carbón alcanzaría un alto valor si podía utilizarse para fundir hierro, pues el tener que usar carbón de leña obligaba a desperdiciar tanta madera que la fundición de hierro fue precisamente una de las causas principales de la destrucción de los bosques.

En 1603, Hugh Platt (1552-1608) fue el primero en descubrir cómo calentar el carbón para eliminar el material restante no carbonífero, dejando un resto de carbón virtualmente puro en la forma que se denominó coque. El coque fue un excelente sustitutivo del carbón de leña en la fundición de hierro.

Cuando el proceso para la fabricación del carbón de coque fue perfeccionado, en 1709, por el maestro fundidor inglés Abraham Darby (1678-1717), el carbón empezó a ocupar el puesto que le correspondía como fuente primaria de energía del mundo. Fue el carbón el que concedió poder a la Revolución industrial en Inglaterra, pues el calor de su combustión calentó el agua que formó el vapor que hizo funcionar las máquinas de vapor que hicieron girar las ruedas de las fábricas, de las locomotoras y de los navíos. Fue el carbón del Ruhr, de los Apalaches y del Donetz, los que hicieron posible la industrialización de Alemania, de los Estados Unidos y de la Unión Soviética, respectivamente.

La madera y el carbón son combustibles sólidos, pero hay también combustibles líquidos y gaseosos. El aceite vegetal podía emplearse como combustible líquido en lámparas, y la madera, al calentarse, desprendía vapores inflamables. De hecho, es la combinación de estos vapores con el aire la que forma las llamas ondulantes de fuego. Los combustibles sólidos que no producen vapores, como el carbón de leña y de coque, por ejemplo, resplandecen simplemente.

Sin embargo, no fue hasta el siglo XVIII cuando los vapores inflamables pudieron ser fabricados y almacenados. En 1766, el químico inglés Henry Cavendish (1731-1810) aisló y estudió el hidrógeno, que él denominó «gas de fuego» a causa de su facilidad para inflamarse. El hidrógeno, al inflamarse, produce gran calor, 250 calorías por gramo, mientras que el mejor

carbón sólo desarrolla 62 calorías por gramo.

El inconveniente del hidrógeno radica en su rápida combustión, y si se mezcla con aire antes de la ignición, explota con gran fuerza si se introduce una chispa. Con excesiva facilidad se puede producir mezcla accidental.

Sin embargo, si se calientan calidades corrientes de carbón en ausencia del aire, se producen vapores inflamables (gas del alumbrado), la mitad del cual está formado por hidrógeno. La otra mitad contiene hidrocarburos y monóxido de carbono, y la mezcla, en su conjunto, podrá quemarse, pero no presenta el mismo peligro de explosión.

El inventor escocés William Murdock (1754-1839) usó gas del alumbrado encendido para iluminar su casa, en el año 1800, demostrando que el peligro de explosión era mínimo. En 1803, usó iluminación de gas en su fábrica, y en el 1807, las calles de Londres empezaron a ser iluminadas con el gas.

Entretanto, rezumando entre las rocas, apareció un material oleoso inflamable que con el tiempo se conoció como «petróleo» (del vocablo latino para expresar «aceite de piedra»), o, más simplemente, «óleo». Del mismo modo que el carbón es el producto de los bosques de unas épocas pasadas, igualmente el petróleo es el producto de la vida marina unicelular de épocas pretéritas.

Entre estos materiales, otras sustancias más densas fueron conocidas por los antiguos como «betún» o «asfalto», y se aplicaron a fines de impermeabilidad. Los árabes y los persas comprobaron la inflamabilidad de las porciones líquidas.

En el siglo XIX se inició la búsqueda de gases, o líquidos fácilmente vaporizables, para atender la demanda de iluminación y mejorar el gas del alumbrado y el aceite de ballena que en aquel tiempo se empleaba. El petróleo proporcionó una posible fuente: podía destilarse, y, una parte líquida, el «queroseno», resultaba ideal para las lámparas. Se necesitaba tan sólo un mayor suministro de petróleo.

En Titusville, Pensilvania, había escapes de petróleo que se recogieron y vendieron como medicamentos especiales. Un maquinista del ferrocarril, Edwin Laurentine Drake (1819-1880), dedujo que bajo tierra existía una gran reserva de petróleo e inició la perforación. En 1859, tuvo éxito y consiguió el primer «pozo de petróleo» productivo. A partir de ese momento se iniciaron sondeos en distintos lugares. Había nacido la industria moderna del petróleo.

Desde aquel momento, cada año se ha extraído de la Tierra mayor cantidad de petróleo. La llegada del automóvil y el motor de combustión interna, que funciona con «gasolina» (una parte líquida del petróleo que se vaporiza aún con más facilidad que el queroseno), proporcionó un enorme impulso a la industria. Había también las partes gaseosas del petróleo, consistentes principalmente en metano (con moléculas formadas por un átomo de carbono y cuatro átomos de hidrógeno), llamadas «gas natural».

Al iniciarse el siglo XX, el petróleo comenzaba a imponerse notablemente sobre el carbón y después de la Segunda Guerra Mundial se convirtió en el principal combustible de la industria mundial. De tal modo que, si antes de la Segunda Guerra Mundial el carbón suministraba el 80 % de las necesidades de energía de Europa, en la década de 1970 solamente cubría un 25 % de esas necesidades. El consumo mundial de petróleo ha excedido del cuádruplo desde la Segunda Guerra Mundial, alcanzando actualmente unos 60 millones de barriles diarios.

La cantidad de petróleo extraída en el mundo desde el primer pozo de petróleo de Drake, es de unos 350 mil millones de barriles, la mitad del cual se ha utilizado durante los últimos veinte años. Se estima que en el suelo quedarán reservas por un total de 660 mil millones de barriles, las cuales durarán solamente treinta y tres años si se persiste en los actuales promedios de consumo.

Éste es un grave problema. El petróleo es el combustible más adecuado entre todos los descubiertos por la Humanidad, disponible en grandes cantidades. Es fácil de extraer, fácil de transportar, fácil de refinar y fácil de usar, no sólo para la energía, sino como origen de una

gran variedad de materiales orgánicos sintéticos como tintes, drogas, fibras y plásticos. Gracias al petróleo, el progreso de la industrialización en el mundo ha alcanzado un alto nivel.

Pasar forzosamente del petróleo a cualquier otra fuente de energía, tendrá grandes inconvenientes y un desembolso importante de capital; sin embargo, finalmente tendrá que hacerse. El consumo en alza continua, y la perspectiva de una inevitable baja en la producción, ha provocado un aumento considerable en el precio del petróleo a partir de 1970, y ha estado alterando la economía de forma alarmante. Es probable que, en 1990, la producción de petróleo esté muy por debajo de la demanda y si otras fuentes de energía no cubren esa carencia, el mundo se enfrentará a una escasez de energía. En esas circunstancias se agudizarán todos los peligros del agotamiento de los recursos y de la contaminación del aire y del agua, del mismo modo que la escasez de energía en los hogares, en las fábricas o en las granjas, crea el problema de falta de calor, de artículos de uso común, e incluso de alimentos.

En vista de ello, parece inapropiado temer catástrofes del universo, del Sol, o de la Tierra; no tenemos por qué asustarnos de los agujeros negros y de las invasiones extraterrestres. En cambio, debemos preguntarnos si durante el transcurso de esta generación, el abastecimiento de energía disponible que ha estado incrementándose sin cesar a lo largo de toda la historia humana llegará a su punto culminante y comenzará a disminuir, y si ese descenso arrastrará en su caída a la civilización humana provocando una guerra nuclear en un último intento por apoderarse de los pocos residuos, destruyendo toda esperanza de recuperación de la Humanidad.

Ésta es la catástrofe más inminente con la que deberemos enfrentarnos entre todas las que he presentado.

Energía: nueva

Aunque la perspectiva de carestía de energía puede considerarse al mismo tiempo como inminente y horrible, no es inevitable. Se trata de una catástrofe que la Humanidad está provocando y, por tanto, está en manos de ella posponerla o evitarla.

Como sucede en el caso del agotamiento de otros recursos, tiene sus posibles contraataques.

En primer lugar, la conservación. Durante doscientos años, la Humanidad ha tenido la suerte de disponer de energía barata, aunque los efectos marginales no han sido tan afortunados. No existían motivos para preocuparse por la conservación, sí, en cambio, una fuerte tentación para una consunción manifiesta.

Pero la era de la energía barata se ha terminado (por lo menos durante algún tiempo). Por ejemplo, los Estados Unidos ya no son autosuficientes en petróleo. Han producido mucho más petróleo que cualquier otra nación, y por esa misma razón sus reservas están agotándose rápidamente, mientras que el promedio nacional de consumo sigue incrementándose.

Como consecuencia, los Estados Unidos han de importar cada vez más petróleo del extranjero, motivando que la balanza comercial se incline cada vez más en una dirección desfavorable, presionando insoportablemente el dólar, causando inflación y, en general, perjudicando sin cesar la posición económica del dólar.

Por tanto, la conservación no es tan sólo deseable para nosotros, sino absolutamente necesaria.

Hay mucho campo que recorrer en el terreno de conservación de la energía, comenzando con la eliminación del mayor derrochador de energía existente, los diversos sistemas militares mundiales. Puesto que una guerra es imposible sin el suicidio colectivo, el consumo astronómico de la energía necesaria para el mantenimiento de esos sistemas militares en competición, teniendo en cuenta que la principal fuente de energía mundial está disminuyendo con suma rapidez, es claramente una locura.

Además de la conservación directa del petróleo, existen posibilidades evidentes para incrementar la eficacia en la extracción del petróleo de los yacimientos ya existentes, de modo que los pozos que ya están secos produzcan de nuevo en alguna medida.

Puede aumentarse igualmente la eficacia en obtener energía del petróleo en combustión (o del combustible en general). El calor del combustible encendido produce explosiones que hacen funcionar las piezas de un motor de combustión interna, o convierte el agua en vapor, cuya presión hace girar una turbina para producir electricidad. Tales mecanismos aprovechan únicamente del 25 al 40 % de la energía del combustible encendido; el resto es calor desperdiciado. No es probable que esa eficacia pueda ser incrementada de manera notable.

Sin embargo, quedan otros sistemas. El combustible encendido puede calentar gases hasta que los átomos y las moléculas se conviertan en fragmentos cargados de electricidad, los cuales, conducidos a través de un campo magnético, produzcan una corriente eléctrica. Estos procesos «magnetohidrodinámicos» tendrían unos resultados mucho más eficaces que los conseguidos por las técnicas convencionales.

Incluso es posible, en teoría, obtener electricidad directamente combinando combustible y oxígeno en una célula eléctrica sin la producción intermedia de calor. Se podría alcanzar fácilmente una eficacia del 75 %, pudiendo llegarse hasta el ciento por ciento. Hasta este momento no se han proyectado «células de combustible» prácticas, pero las dificultades que presenta su producción son superables.

Además, sería posible localizar nuevos yacimientos de petróleo. La historia del último medio siglo abunda en predicciones sucesivas de un agotamiento de petróleo que no se han hecho realidad. Antes de la Segunda Guerra Mundial se creía que la producción llegaría a su más alto grado en la década de los años cuarenta, iniciando un descenso permanente; después de la guerra, la fecha se pospuso a la década de los sesenta; ahora la fecha ha quedado

retrasada a 1990. ¿Seguirá siendo pospuesta simplemente?

Es lógico que no podemos contar con esa circunstancia. El hallazgo ocasional de nuevos yacimientos de petróleo ha sido la causa de que se prolongue la fecha calculada. El hallazgo más importante después de la Segunda Guerra Mundial fue el sorprendente e inesperado descubrimiento de la enormidad de las reservas de petróleo en el Oriente Medio.

Actualmente, el 60 % de las reservas conocidas de petróleo están cerca del golfo Pérsico (por una curiosa coincidencia, en el mismo lugar en donde se asentó la primera civilización del hombre).

No es probable que se produzca otro descubrimiento tan rico. A medida que ha transcurrido el tiempo, se ha intensificado la búsqueda por toda la Tierra mediante técnicas cada vez más complicadas. Se ha encontrado un poco en Alaska del Norte, algo en el mar del Norte, se está experimentando con creciente minuciosidad en las plataformas continentales, pero llegará el día, probablemente cercano, en que no quedarán más yacimientos de petróleo por descubrir.

Con los medios de que ahora disponemos para su conservación, aumento de eficacia y hallazgo de nuevos yacimientos, parece inevitable que el siglo XXI no estará muy avanzado cuando todos los yacimientos de petróleo estén a punto de agotarse. ¿Qué haremos entonces?

Además de los yacimientos, el petróleo puede obtenerse de otras fuentes, en las que se localizan porciones de petróleo que se filtran por los intersticios de material subterráneo, relativamente fáciles de extraer. Existe un tipo de roca llamada «esquistos, pizarra» asociada con un material orgánico alquitranado llamado «queroseno». Si se calienta el esquisto, las moléculas de queroseno se rompen y se obtiene una sustancia muy parecida al petróleo crudo. La cantidad del aceite de esquistos presente en la corteza terrestre podría ser tres mil veces la cantidad del petróleo. Un campo de aceite de esquistos, en el oeste de los Estados Unidos, puede contener un total de petróleo igual a siete veces todo el petróleo del Oriente Medio.

El problema está en que el esquisto ha de extraerse de las minas, ha de calentarse; y el aceite que se obtenga (y aún el mineral más rico sólo produciría un par de barriles por tonelada de piedra) tendría que ser refinado por procedimientos muy distintos de los que ahora se utilizan. Después de la extracción del aceite, la roca desechada quedaría y habría que depositarla en algún lugar. Las dificultades y los gastos son muy importantes, y queda todavía suficiente petróleo en los yacimientos para que nadie se interese en ese desembolso de capital. Sin embargo, en el futuro, a medida que el petróleo disminuya, el aceite de esquistos puede servir para cubrir la necesidad (naturalmente, a un precio muy superior).

Queda también el carbón. Él carbón fue la fuente primaria de energía antes de que el petróleo se impusiera, y continúa todavía a disposición de la Humanidad. Suele decirse que hay suficiente carbón en el suelo para que la Humanidad prosiga su marcha al promedio actual de consumo de energía durante millares de años. Sin embargo, no todo el carbón puede obtenerse en la actualidad con las técnicas prácticas de minería. A pesar de ello, basándonos en la evaluación más prudente, podemos contar con que el carbón durará centenares de años, y por aquel entonces las técnicas de minería pueden haber mejorado.

Por otra parte, la explotación minera es peligrosa. Se producen explosiones, asfixia y derrumbamientos. Es un trabajo duro físicamente y los mineros mueren de enfermedades pulmonares. El proceso de la minería tiende a destruir y contaminar la tierra alrededor de la mina, creando un escenario de escoria y desolación. Después de ser extraído de la mina, el carbón ha de ser transportado; tarea mucho más ardua que la de bombear petróleo a través de una tubería. El carbón es mucho más difícil de manejar y encender que el petróleo, y deja un residuo de ceniza pesada, así como (a menos que se lleve a cabo una limpieza especial del carbón antes de su uso), un humo contaminador del aire.

A pesar de todo ello, podemos confiar en que el carbón será extraído mediante nuevas técnicas más sofisticadas, y la Tierra, después de ser trabajada, podrá restaurarse todo lo posible a su condición original. (Evidentemente, esta tarea requiere tiempo, trabajo y dinero.) Cabe también que gran parte del trabajo pueda realizarse en el propio emplazamiento de la

mina, evitando de esta manera costes onerosos y las molestias de un transporte pesado.

Por ejemplo, el carbón podría quemarse en el emplazamiento de la mina para producir electricidad por las técnicas magnetohidrodinámicas. En ese caso debería transportarse la electricidad y no el carbón.

El carbón también puede calentarse en la mina de carbón para la producción de gases, incluyendo monóxido de carbono, metano e hidrógeno. Estas materias pueden tratarse para que produzcan el equivalente del gas natural, la gasolina y los restantes productos del petróleo. En ese caso deberán transportarse los productos oleosos y el gas, y no el carbón, y las minas de carbón se convertirán en nuestros nuevos yacimientos de petróleo.

También el carbón que ha de utilizarse forzosamente como tal (por ejemplo, en la fabricación de hierro y de acero) puede utilizarse de modo más rentable. Puede ser reducido a un polvo fino, quizá, y ser transportado, quemado y controlado tan sólo con algo más de dificultad que el petróleo.

Entre el aceite de esquistos y las minas de carbón, podríamos disponer de nuevo petróleo aun después de que los yacimientos de petróleo se hayan agotado, continuando nuestra tecnología durante algunos siglos venideros, esencialmente tal como ahora.

Sin embargo, existe una grave dificultad al depender del petróleo y el carbón, dejando a un lado el avance que hayan podido conseguir nuestras técnicas. Estos «combustibles fósiles» han permanecido en el subsuelo durante centenares de millones de años, y representan muchos billones de toneladas de carbono que durante todo ese tiempo no han estado en la atmósfera de la Tierra en ninguna forma.

En la actualidad estamos quemando estos combustibles fósiles en una proporción constantemente mayor, convirtiendo el carbono en dióxido de carbono y descargándolo en la atmósfera. Parte de él queda disuelto en el océano. Otra parte puede quedar absorbida por el exuberante crecimiento vegetal que su presencia puede estimular. Pero una parte continuará en el aire, y elevará el contenido atmosférico de dióxido de carbono.

Por ejemplo, desde el año 1900, el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera se ha elevado del 0,029 °/o al 0,032 %. Se estima que hacia el año 2000 la concentración puede llegar al 0,038 %, que representa un aumento del 30 °/o durante el siglo. Esto debe ser como resultado, por lo menos, en parte de quemar combustibles fósiles, aunque también se debe, en parte, a la desaparición de los bosques que absorben más fácilmente el dióxido de carbono que otras formas de vegetación.

Es evidente que el aumento de dióxido de carbono en el contenido de la atmósfera, no es excesivo. Aunque el proceso de quemar combustibles fósiles continúe y se acelere, se estima que la mayor concentración que probablemente alcancemos sería del 0,115 °/o. Aun en esta cifra no interferiría con nuestra respiración.

Sin embargo, no es la respiración lo que debe preocuparnos. No es necesario aumentar mucho la concentración de dióxido de carbono para intensificar de manera notable el efecto de invernadero. La temperatura media de la Tierra podría ser 1°C más elevada en el año 2000 que en 1900 a causa del aumento en la proporción de dióxido de carbono (1). Se necesitaría mucho más que eso para llegar al punto en que el clima de la Tierra estuviera gravemente afectado y los casquetes de hielo empezaran a fundirse con efectos desastrosos sobre las tierras bajas continentales.

Algunos autores señalan que si el contenido de dióxido de carbono excede de cierto punto, el ligero aumento de la temperatura media del océano desprenderá dióxido de carbono de la solución presente en el agua marina, que influirá sobre el efecto de invernadero, elevando todavía más la temperatura del agua del océano, que desprenderá mayor cantidad de dióxido de carbono, y así sucesivamente. Semejante «efecto desbocado de invernadero» podría finalmente elevar la temperatura de la Tierra más allá del punto de ebullición del agua, haciéndola inhabitable; con toda seguridad, ésa sería una consecuencia catastrófica de la quema de combustibles fósiles.

Se especula sobre la existencia de un corto período de invernadero suave, que dio unos

resultados decisivos en la Tierra durante el pasado. Hace aproximadamente setenta y cinco millones de años, unos estratos tectónicos alteraron la corteza terrestre, de tal modo que quedaron secos algunos mares de poca profundidad. Dichos mares eran especialmente ricos en algas que absorbían el dióxido de carbono del aire. Al desaparecer los mares de poca profundidad, disminuyó la cantidad de algas marinas, y decreció también la absorción de dióxido de carbono. Por consiguiente, aumentó el contenido atmosférico de dióxido de carbono y la Tierra se calentó.

Los grandes animales pierden el calor corporal con menos facilidad que los pequeños, y tienen mayor dificultad también en mantenerse frescos. Especialmente las células de esperma, muy sensibles al calor, pudieron resultar lesionadas durante ese período, con la consiguiente pérdida de fertilidad de los animales de tamaño grande. Quizás fue ése el motivo de la extinción de los dinosaurios.

¿Nos espera, quizás, un destino parecido, o peor, provocado por nosotros mismos?

En casos similares he tenido confianza en que los avances de la tecnología nos ayudarían a alejar o evitar la catástrofe. Imaginemos que la Humanidad puede intervenir en la atmósfera para eliminar el exceso de dióxido de carbono. Sin embargo, si se produce el efecto desbocado de invernadero, es probable que (al contrario de las catástrofes involucradas en una futura era glacial o un sol en expansión) se presente tan pronto que resulte difícil imaginar que nuestra tecnología progrese con la rapidez suficiente para poder salvarnos.

Ante esta perspectiva, es posible que los proyectos para encontrar nuevos yacimientos de petróleo, o para remplazar el petróleo por aceite de esquistos o carbón, sean cuestiones sin una importancia práctica; es posible que exista un límite bien definido de hasta dónde se puede llegar en el consumo de combustible fósil o de cualquier otro tipo y procedencia, sin correr el riesgo de una catástrofe de invernadero. ¿Quedarán otras alternativas o sólo nos queda aguardar desesperadamente que la civilización se destruya de una u otra manera durante el próximo siglo?

Quedan alternativas. Quedan las antiguas fuentes de energía que la Humanidad ya conocía antes de que los combustibles fósiles entraran en escena. Poseemos la energía de nuestros músculos y de los músculos de los animales. Hay el viento, que mueve el agua, las mareas, el calor interno de la Tierra, la madera. Todas estas fuentes de energía no son contaminantes, y sí, en cambio, renovables e inagotables, pudiendo ser utilizadas, además, de un modo más sofisticado que en los viejos tiempos.

Por ejemplo, no es necesario que derribemos alocadamente los árboles para aprovechar el calor que proporcione su leña o para manufacturar carbón de leña con destino a la fabricación de acero. Podríamos plantar cultivos especiales rápidos en su absorción de dióxido de carbono con el que fabrican su propio tejido («biomasa»). Estos cultivos podrían quemarse directamente, o, mejor todavía, cultivar variedades especiales de las que extraer aceite inflamable o bien hacerlas fermentar para extraer el alcohol. Semejante tipo de combustibles producidos de modo natural pueden hacer funcionar nuestros automóviles y fábricas del futuro.

La gran ventaja de los combustibles producto de cultivos es que no añaden de manera permanente dióxido de carbono al aire. El combustible es producido por un dióxido de carbono que ha sido absorbido previamente, hará meses o años, y que simplemente se devuelve a la atmósfera de la que se extrajo en fecha reciente.

También podrían construirse molinos de viento o su equivalente, con un rendimiento mucho más eficaz que el de las estructuras medievales que los inspiraron, y que aprovecharan mucho más la energía del viento.

Antiguamente, las mareas se aprovechaban tan sólo para hacer salir los navíos de los puertos. Ahora, durante la marea alta pueden llenarse depósitos que, al bajar el nivel del agua, pueden hacer funcionar una turbina que produzca electricidad. En las zonas en donde el calor interno de la Tierra se encuentra cerca de la superficie, se podría acumular aprovechándolo para producir un vapor que hiciera funcionar una turbina y generar electricidad. Incluso se han

hecho sugerencias sobre el aprovechamiento de la diferencia de temperatura entre el agua de la superficie y la de las profundidades de los océanos tropicales, o la energía constante del movimiento de las olas, para generar electricidad.

Todas estas formas de energía son, en toda su amplitud y extensión, seguras y eternas. No producen contaminación peligrosa, y siempre se renovarán mientras la Tierra y el Sol perduren.

Sin embargo, no son abundantes. Es decir, por sí solas, ni todas juntas, son capaces de cubrir todas las necesidades de energía de la Humanidad, como, por ejemplo, han satisfecho durante los dos últimos siglos el petróleo y el carbón. Esto no significa que no sean importantes. Por una parte, cada una de ellas puede, en un tiempo y lugar determinados, y con un fin específico, ser la forma más conveniente de obtener energía. Y todas ellas juntas pueden servir para alargar el uso de los combustibles fósiles.

Disponiendo de todas estas otras formas de energía, la quema de combustibles fósiles puede continuar en una proporción que no exceda el peligro del clima durante largo tiempo. Mientras tanto, puede desarrollarse alguna forma de energía que sea segura, eterna y abundante.

La primera pregunta es: ¿Existe una energía que reúna semejantes características? La respuesta es: Sí, existe.

Energía: abundante

Solamente cinco años después del descubrimiento de la radiactividad, en 1896, por el físico francés Antoine Henri Becquerel (1852-1908), Pierre Curie midió el calor emitido por el radio al descomponerse. Fue la primera indicación de que el átomo contenía una enorme capacidad energética cuya existencia, hasta aquel momento, nadie había sospechado.

Casi al instante la gente comenzó a especular sobre las posibilidades de controlar esa energía. El escritor inglés de ciencia-ficción, H. G. Wells, incluso especuló sobre la posible existencia de lo que él llamó «bombas atómicas» casi tan pronto como el descubrimiento de Curie fue anunciado.

Sin embargo, se comprobó que para que esta energía atómica se desprendiera (o, hablando en términos más adecuados, «energía nuclear» pues era la energía lo que mantenía unido el núcleo atómico y no involucraba a los electrones exteriores que eran la base de las reacciones químicas), primero tenía que pasar a los átomos. El átomo debía ser bombardeado con partículas energéticas subatómicas cargadas positivamente. Un pequeño grupo entre ellas chocaba contra el núcleo, y de este pequeño grupo, algunas partículas conseguían vencer el rechazo del núcleo cargado positivamente, alterando lo bastante su contenido para provocar un desprendimiento de energía. El resultado fue que la energía utilizada para bombardear era superior a la energía que podía extraerse y el proyecto de controlar la energía nuclear se convirtió en un sueño irrealizable.

Sin embargo, en 1932, James Chadwick (1891-1974), descubrió una nueva partícula subatómica. Al carecer de carga eléctrica, Chadwick la llamó «neutrón», y a causa de esa carencia, la partícula podía acercarse al núcleo atómico cargado eléctricamente, sin ser rechazado. Por tanto, no se requería mucha energía para que un neutrón chocara y entrara en un núcleo atómico.

Muy pronto, el neutrón se convirtió en una «bala» subatómica favorita, y en 1934, el físico italiano Enrico Fermi (1901-1954) bombardeó átomos con neutrones con el propósito de convertirles en átomos con un elemento más en la lista. El uranio era el elemento 92, el que ocupaba el lugar más alto. No se conocía un elemento 93, y Fermi bombardeó también el uranio en un esfuerzo por formar el elemento desconocido.

Los resultados fueron confusos. Otros físicos repitieron el experimento intentando sacar algo en claro, sobre todo el físico alemán Otto Hahn (1879-1968) y su colaboradora

austriaca Lise Meitner (1878-1968). Fue Meitner quien se dio cuenta, a finales de 1938, de que el átomo de uranio, al recibir el choque de un neutrón, se dividía en dos («fisión del uranio»).

En aquella época, Lise Meitner estaba exiliada en Suecia, pues como era judía había tenido que abandonar la Alemania nazi. Confió sus ideas al físico danés Niels Bohr (1885-1962), a principios de 1939, y éste las llevó a Estados Unidos.

El físico húngaro-americano Leo Szilard (1898-1964) valoró la importancia del descubrimiento. El átomo de uranio, al desintegrarse, liberaba una gran cantidad de energía para un átomo simple, energía muy superior comparada con la pequeña cantidad del neutrón de movimiento lento que lo había golpeado. Además, el átomo de uranio, al desintegrarse, desencadenaba dos o tres neutrones, cada uno de los cuales podía chocar contra un átomo de uranio que a su vez se dividiría, liberando dos o tres neutrones, cada uno de los cuales podía golpear un átomo de uranio, y así sucesivamente.

En una pequeña fracción de segundo, la «reacción en cadena» resultante podía provocar una enorme explosión causada simplemente por ese neutrón inicial que podía estar errando por el aire sin que nadie se hubiese molestado en colocarlo allí.

Leo Szilard convenció a los científicos americanos para que no revelasen los avances en la investigación (Alemania estaba a punto de declarar la guerra contra el mundo civilizado) y convenció al presidente Roosevelt, por medio de una carta escrita por Albert Einstein, para que apoyara la investigación. Antes de terminar la Segunda Guerra Mundial, se habían fabricado tres bombas de fisión de uranio. Una de ellas fue experimentada en Alamogordo, Nuevo México, el 16 de julio de 1945, y el resultado constituyó un éxito. Las otras dos fueron lanzadas sobre el Japón.

Entretanto, los científicos idearon un sistema para controlar la fisión del uranio. Se permitía que la fisión llegara hasta cierto nivel de seguridad, en el que podía mantenerse indefinidamente. Con ello se lograba desarrollar un calor igual al obtenido hasta entonces por el carbón encendido o el petróleo, y producir electricidad.

En la década de los cincuenta, se establecieron en Estados Unidos, Gran Bretaña y la Unión Soviética, instalaciones productoras de electricidad por medio de la fisión del uranio. A partir de entonces, en muchas naciones se han multiplicado los «reactores de fisión nuclear», contribuyendo sustancialmente a satisfacer las necesidades mundiales de energía.

Estos reactores de energía nuclear presentan cierto número de ventajas. Por una parte, peso por peso, el uranio produce mucho más energía que la combustión de carbón o petróleo. De hecho, aunque el uranio no sea un metal ordinario, se estima que las reservas existentes mundiales, producirán de diez a cien veces más energía que las reservas de combustible fósil.

Una de las razones por las cuales no puede extraerse mayor provecho del uranio es que existen dos variedades, y únicamente una de ellas se desintegra. Las variedades son Uranio-238 y Uranio-235 y sólo el Uranio-235 se desintegra bajo el bombardeo de los neutrones lentos. El Uranio-235 constituye únicamente un 0,7 % del uranio localizado en la Naturaleza.

Sin embargo, es posible diseñar un reactor nuclear de modo que los núcleos desintegrantes queden rodeados por Uranio-238 o un metal similar, el torio-232. Los neutrones que escapan del núcleo golpearán los átomos de uranio y torio, y aunque no logren desintegrarlos, los transformarán en otros tipos de átomo, que, en las condiciones adecuadas, se desintegran. Un reactor de este tipo crea combustible en la forma de plutonio-239 o uranio-233 fisionables, mientras que el combustible original, uranio-235, se consume lentamente. De hecho, crea más combustible del que consume, y, en consecuencia, es llamado reactor nodriza, productor.

Hasta ahora, casi ninguno de los reactores de fisión nuclear en funcionamiento, ha sido de este tipo (nodriza), pero se construyeron algunos ya en 1951, y puede continuarse su fabricación. Con el uso de reactores nodriza, todo el uranio y el torio pueden ser fisionados y productores de energía. De esta manera, la Humanidad dispondrá de una fuente de energía por lo menos tres mil veces superior a todas las reservas de combustible fósil.

Utilizando reactores ordinarios de fisión nuclear, la Humanidad dispondrá de un almacenamiento de energía que durará algunos siglos, persistiendo los actuales promedios de consumo. Con los reactores nodriza, el almacenamiento de energía durará centenares de miles de años, tiempo suficiente para que se desarrolle un sistema mucho mejor antes de que se agote el disponible. Y lo que es más todavía, los reactores de fisión nuclear, ya sean del tipo corriente o nodrizas, no producen dióxido de carbono ni contaminación química del aire.

Con estas ventajas presentes, ¿cuáles pueden ser los inconvenientes? Para empezar, el uranio y el torio están muy diseminados por la corteza terrestre y son difíciles de hallar y concentrar. Es posible que únicamente pueda utilizarse una pequeña fracción del uranio y del torio que existen. En segundo lugar, los reactores de fisión nuclear son unas grandes máquinas muy costosas, difíciles de mantener y reparar. Tercero, y lo más importante, los reactores de fisión nuclear introducen una nueva forma de contaminación, especialmente mortífera: la radiación nuclear.

Cuando el átomo de uranio se fisiona, produce una serie completa de pequeños átomos que son radiactivos, mucho más intensamente radiactivos que el propio uranio. Esta radiactividad excede del nivel de seguridad muy lentamente, y en el caso de algunas variedades, tan sólo después de haber transcurrido millares de años. Esta «ceniza radiactiva» es sumamente peligrosa, ya que su radiación puede matar con igual seguridad que una bomba nuclear, aunque de manera mucho más insidiosa. Si las necesidades de energía de la Humanidad fuesen atendidas exclusivamente por los reactores de fisión, la cantidad de radiactividad presente en la ceniza que cada año se produciría, equivaldría a millones de explosiones de bombas de fisión nuclear.

La ceniza radiactiva ha de almacenarse en algún lugar seguro, de manera que no se filtre en el ambiente durante millares de años. Puede almacenarse en depósitos de acero inoxidable, o bien mezclarse con vidrio fundido que se congela después. Los depósitos, o el cristal se almacenan en minas de sal bajo tierra, en la Antártida, entre los sedimentos del fondo del océano, etc. Hasta este momento se han propuesto muchos métodos para liberarse de estos desechos, todos ellos con alguna credibilidad, pero ninguno lo suficientemente seguro para que todo el mundo quede satisfecho.

Existe también la posibilidad de que un reactor de fisión nuclear se estropee. El diseño del reactor está calculado de modo que es imposible una explosión, pero se utilizan grandes cantidades de material fisionable, y si una reacción de fisión accidentalmente se acelera, excediendo el punto de fisión de seguridad, el núcleo se calentará, se derretirá a través de sus cubiertas protectoras, y la mortífera radiación puede explotar afectando una gran zona.

Los reactores nodriza son especialmente mortíferos porque el combustible que suelen utilizar es el plutonio más radiactivo que el uranio y que conserva su radiactividad durante centenares de miles de años. Se cree que es la sustancia más mortífera de la Tierra, y existe el temor de que si se populariza el empleo del plutonio, puede haber escapes en el medio ambiente y la Tierra podría quedar literalmente envenenada, haciéndose, por consiguiente, inhabitable.

Existe también el temor de que el plutonio pueda llevar el terrorismo a nuevos niveles de efectividad. Si los terroristas consiguieran obtener una provisión de plutonio, lo utilizarían con la amenaza de una explosión o envenenamiento para hacer un chantaje al mundo. Sería el arma más terrible de que han podido disponer hasta este momento.

No hay medio de tranquilizar a la gente, asegurando que esas cosas nunca sucederán, y como resultado, cada vez surgen más objeciones y protestas contra el establecimiento de reactores de fisión nuclear. El poder de la fisión nuclear progresa mucho más lentamente de lo que se preveía en la década de los cincuenta, cuando empezó a utilizarse, contra todas las optimistas predicciones de una nueva era con energía en abundancia.

Sin embargo, la fisión nuclear no es la única que conduce a la energía nuclear. En el Universo en general, la fuente principal de energía la produce la fusión de los núcleos de hidrógeno (los más elementales que existen) que se transforman en núcleos de helio (los

siguientes en sencillez). Esta «fusión de hidrógeno» es la que proporciona energía a las estrellas, según señaló el físico germano-americano Hans Albrecht Bethe (1906-), en 1938.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los físicos intentaron provocar la fusión del hidrógeno en el laboratorio. Esta fusión requería temperaturas extremas de millones de grados, y tenía que mantenerse el hidrógeno gaseoso en su lugar mientras se elevaba a una temperatura tan enormemente alta. El Sol y las otras estrellas mantenían sus núcleos en el mismo lugar con sus enormes campos gravitacionales, pero en la Tierra no era posible duplicar ese efecto.

Un medio para conseguirlo consistía en elevar la temperatura del hidrógeno con tanta rapidez que no tuviera tiempo de dilatarse y escapar antes de llegar al calor requerido para su fusión. Una bomba de fisión nuclear podía conseguirlo. En 1952, en Estados Unidos se hizo explotar una bomba en la que la fisión del uranio provocó la fusión del hidrógeno. Inmediatamente, en la Unión Soviética se hizo estallar una bomba semejante de fabricación propia.

Esta «bomba de fusión nuclear» o «bomba de hidrógeno» era muchísimo más poderosa que las bombas de fisión y nunca ha sido utilizada en una guerra. Estas bombas de fusión son llamadas también «bombas termonucleares», porque requieren temperaturas más elevadas para su funcionamiento. Es precisamente su utilización en una «guerra termonuclear» lo que he considerado que posiblemente provocaría una catástrofe de cuarta clase.

Pero, ¿sería posible controlar la fusión del hidrógeno para la producción de energía como sucede con la fisión del uranio? El físico inglés John David Lawson (1923-) calculó las características requeridas en 1957. El hidrógeno debería tener cierta densidad específica, alcanzar determinada temperatura y mantener esa temperatura sin escapes durante cierto período de tiempo. Cualquier fallo de estas características, requiere un aumento en una o en las dos restantes. A partir de entonces, los científicos de Estados Unidos, Gran Bretaña y la Unión Soviética han estado intentando lograr estas condiciones.

Existen tres tipos de átomos de hidrógeno, hidrógeno-1, hidrógeno-2 e hidrógeno-3. El hidrógeno-2 se llama «deuterio» y el hidrógeno-3, «tritio». El hidrógeno-2 se funde a menor temperatura que el hidrógeno-1 y el hidrógeno-3 lo hace todavía a menor temperatura (aunque la temperatura más baja para la fusión ha de ser de decenas de millones de grados, en las condiciones terrestres).

El hidrógeno-3 es un átomo radiactivo que casi no existe en la Naturaleza. Puede hacerse en el laboratorio, pero sólo es posible utilizarlo en pequeña escala. Por tanto, el hidrógeno-2 es el combustible original para la fusión, y se le añade un poco de hidrógeno-3 para reducir la temperatura de fusión.

El hidrógeno-2 es mucho menos corriente que el hidrógeno-1. En cada cien mil átomos de hidrógeno sólo hay quince de hidrógeno-2. A pesar de ello, en cada 4,5 litros de agua del mar hay hidrógeno-2 suficiente para representar la energía obtenida por la combustión de 1.500 litros de gasolina. Y el océano (en el que de cada tres átomos dos son de hidrógeno) es tan vasto, que contiene suficiente hidrógeno-2 para satisfacer durante miles de millones de años el presente nivel de consumo de energía.

Ciertos aspectos parecen indicar que la fusión nuclear es preferible a la fisión nuclear. Por una parte, peso por peso, se puede obtener una energía diez veces superior de la materia por fusión que por fisión, y el hidrógeno-2, el combustible por fusión, es más fácil de obtener que el uranio o el torio, y de manejo mucho más fácil. Una vez iniciada la fusión del hidrógeno-2, únicamente se utilizan cada vez cantidades microscópicas, de manera que, aunque la fusión se descontrole y todo el material fusionable estalle de una vez, los resultados serían una explosión menor, demasiado pequeña para ser apreciada. Además la fusión del hidrógeno no produce cenizas radiactivas. Su producto principal, el helio, es la sustancia conocida menos peligrosa. En el curso de la fusión se producen hidrógeno-3 y neutrones, ambos elementos peligrosos. Sin embargo, son generados en cantidades pequeñas y pueden ser reciclados y utilizados en fusiones posteriores.

Así pues, la fusión nuclear parece ser la fuente de energía ideal desde todos los aspectos. Sin embargo, el problema radica en que todavía no disponemos de ello. A pesar de todos los intentos realizados durante años, los científicos no han podido todavía conservar en un lugar el hidrógeno suficiente, a una temperatura suficientemente alta durante un período de tiempo adecuado para que se fundiera en condiciones controladas.

Los científicos están acercándose al problema desde diferentes direcciones. Fuertes campos magnéticos, cuidadosamente proyectados, mantienen los fragmentos cargados en su lugar, mientras se eleva poco a poco la temperatura. O se eleva la temperatura con suma rapidez, no con bombas de fisión, sino con rayos láser o electrones. Es razonable suponer que durante la década de 1980 se logrará que alguno de estos métodos dé resultados, o posiblemente los tres, y se convertirá en un hecho la fusión controlada en el laboratorio. Quizá se tarde entonces algunas décadas en construir las grandes centrales eléctricas de fusión que contribuyan esencialmente a cubrir las necesidades de energía de la Humanidad.

Sin embargo, dejando a un lado la fusión del hidrógeno, existe otra fuente de abundante energía, segura y eterna. Se trata de la radiación solar. El 2 °/o de la energía de la luz solar mantiene la fotosíntesis de toda la vida vegetal de la Tierra, y, a través de ella, de toda la vida animal. El resto de la energía de la luz solar es por lo menos diez mil veces superior a todas las necesidades humanas de energía. Esta porción mayor de la radiación solar no es inútil. Evapora el agua del océano y produce, por tanto, la lluvia, el agua corriente y, en general, el suministro de agua pura de toda la Tierra. Impulsa las corrientes del océano y del viento. Calienta a la Tierra en general y la hace habitable.

Sin embargo, no hay razón alguna que impida a los seres humanos utilizar, en primer lugar, la radiación solar. Si así se hiciera, el resultado final sería que la radiación se convertiría en calor y no se perdería nada. Sería como meterse debajo de una cascada de agua: el agua llegaría también al suelo, y seguiría la corriente del río, pero nosotros habríamos interrumpido en parte su caída, al menos de manera temporal, para lavarnos y refrescarnos.

Evidentemente, la energía solar presenta una dificultad importante, pues aunque abunda, está diluida. Queda finamente esparcida sobre una zona muy amplia y su concentración y uso no serían fáciles.

La energía solar se ha venido utilizando durante largo tiempo a pequeña escala. Las ventanas encaradas al sur, durante el invierno, permiten la entrada de la luz solar y son relativamente opacas a la reirradiación de la luz infrarroja, de modo que una casa se calienta por el efecto de invernadero y necesita menos combustible.

En ese aspecto se puede conseguir mucho más. Depósitos de agua instalados en los tejados inclinados al sur (en el hemisferio sur inclinado al norte) podrían absorber el calor del Sol, ofreciendo un suministro constante de agua caliente al hogar. También podría utilizarse este sistema para calentar la casa en general, o para acondicionarla por aire durante el verano. O bien la radiación solar puede ser convertida directamente en electricidad exponiendo células solares a la luz del Sol.

Claro está que el Sol no siempre está disponible. Durante la noche no calienta, y durante el día las nubes pueden reducir la luz hasta un nivel inútil. Además, una casa puede permanecer a la sombra de otras casas, o de objetos naturales como colinas o árboles durante varias horas al día. No existe ningún medio totalmente eficaz para almacenar energía solar durante los períodos de luz para utilizarla en los períodos de oscuridad.

Si tuviéramos que depender de la energía solar, antes de tener que ocuparnos de casas individuales esparcidas, sería necesario cubrir decenas de millares de millas cuadradas de desierto con células solares. Este sistema sería muy costoso de instalar y de mantener.

No obstante, queda la posibilidad de recoger energía solar, no en la superficie de la Tierra, sino en el espacio cercano. Un amplio banco de células solares, colocado en órbita en el plano ecuatorial a unos 33.000 kilómetros (21.000 millas) por encima de la superficie de la Tierra, giraría alrededor del Globo en veinticuatro horas. Ésta es una «órbita sincrónica» y la estación espacial parecerá inmóvil con respecto a la superficie terrestre.

Un banco de células solares como el mencionado estaría totalmente expuesto a la radiación del Sol, sin ninguna interferencia atmosférica. En el transcurso de un año solamente permanecería a la sombra de la Tierra en un 2 °/o del tiempo, reduciendo de este modo en sumo grado la necesidad de almacenar energía. Algunas evaluaciones suponen que un área determinada de células solares en órbita sincrónica, produciría sesenta veces más electricidad que un área igual en la superficie terrestre.

La electricidad formada en la estación espacial se convertiría en radiación por microondas dirigidas a una estación receptora en la Tierra, en donde se reconvertirían en electricidad. Un centenar de estas estaciones, repartidas alrededor del plano ecuatorial, representaría una abundante fuente de energía cuya duración sería igual a la duración del Sol.

Si contemplamos el futuro suponiendo que la Humanidad colaborará para su supervivencia, resulta plausible creer que, en el año 2020, no sólo funcionarán centrales eléctricas por fusión nuclear, sino que además trabajarán también las primeras instalaciones espaciales. No existe duda alguna de que podemos llegar al 2020 utilizando combustibles fósiles y otras fuentes de energía. Por consiguiente, mediante la paz y la buena voluntad, la crisis de energía que ahora nos aflige puede, a la larga, no llegar a ser una verdadera crisis. Además, la explotación del espacio, en relación con las estaciones de energía solar, nos conduciría mucho más lejos. Se construirían también laboratorios y observatorios en el espacio, así como instalaciones espaciales para albergar a todos aquellos ocupados en la construcción. Habrá estaciones mineras en la Luna para obtener la mayor parte de los materiales necesarios para las estructuras espaciales (aunque el carbono, el nitrógeno y el hidrógeno tendrán que continuar siendo suministrados durante algún tiempo desde la Tierra).

Probablemente, muchas de las plantas industriales de la Tierra serán trasladadas al espacio; se explotarán las minas de los asteroides; la Humanidad empezará a diseminarse por el Sistema Solar, e incluso, con el tiempo, hacia las estrellas. Con semejante escenario, podríamos suponer que todos los problemas se resolverán, excepto que la misma victoria aportará sus propios problemas. En el último capítulo me ocuparé de las catástrofes que puedan derivarse posiblemente de la victoria.

Capítulo XV

LOS PELIGROS DE LA VICTORIA

Población

Si imaginamos una sociedad en paz, con energía sobrante y, por consiguiente, con capacidad plena para reciclar recursos y progresar en la tecnología, hemos de imaginar también que esa sociedad sacará provecho de las compensaciones de su victoria sobre el medio ambiente. La compensación más obvia será precisamente la experimentada como resultado de victorias similares durante el pasado, el aumento de la población.

La especie humana, como todas las especies vivientes que han existido en la Tierra, tiene la capacidad de incrementar rápidamente su número. No es imposible que una mujer tenga, por ejemplo, dieciséis hijos durante los años en que está capacitada para procrear. (Existen casos registrados de más de treinta hijos para una sola madre.) Esto significa que si empezamos con dos personas, un hombre y su esposa, tendremos un total de dieciocho personas al cabo de treinta años. Por entonces, los hijos mayores podrían haberse casado entre ellos (imaginando una sociedad que permita el incesto), habiendo engendrado diez hijos más. Por tanto, partiendo de dos, hemos llegado a veintiocho, un aumento duplicado catorce veces en treinta años. En esa proporción, la pareja original de seres humanos hubiera aumentado a cien millones en dos siglos.

Sin embargo, la población humana nunca ha aumentado en esa proporción por dos razones. En primer lugar, la cifra de nacimientos no es universalmente de dieciséis para cada mujer, siendo el promedio muy inferior por diversas razones. En otras palabras, el promedio de nacimientos generalmente queda muy por debajo de su potencial máximo.

En segundo lugar, he estado suponiendo que todos los que han nacido han sobrevivido, y, naturalmente, esto no es así. Todo el mundo ha de morir algún día; con frecuencia, mueren antes de haber engendrado el número de hijos dentro su capacidad; muchas veces incluso antes de haber engendrado ningún hijo.

En resumen, existe igualmente un promedio de fallecimientos y un promedio de nacimientos, y para casi todas las especies y en casi todas las épocas, los dos promedios están bastante equilibrados.

Si, a la larga, el promedio de muertes y de nacimientos es constante, la población de cualquier especie de que se trate permanece estable, pero si el promedio de defunciones alcanza un nivel superior que el de nacimientos, aunque sea muy ligero, la especie disminuye en número y con el tiempo se extingue. Si el promedio de nacimientos es, aunque ligeramente, superior al de muertes, la especie aumentará continuamente.

El promedio de fallecimientos de cualquier especie tiende a elevarse si el medio ambiente se vuelve desfavorable por cualesquiera motivos, y desciende si se torna favorable. La población de cualquier especie tiende a elevarse en los años buenos y a disminuir en los años malos.

Sólo los seres humanos, entre todas las especies que han vivido en la Tierra, poseyeron la inteligencia y la oportunidad para alterar radicalmente su medio ambiente de modo que les favoreciera. Han mejorado su clima por medio del fuego, por ejemplo; aumentado sus provisiones de alimentos mediante el cultivo deliberado de las plantas y la cría de animales; con la invención de las armas, han reducido el peligro de los animales depredadores, y con el desarrollo de la medicina, han reducido el peligro de los parásitos. El resultado ha sido que la Humanidad ha logrado conservar un promedio de nacimientos que, en su conjunto, ha sido más elevado que el promedio de muertes desde que el *Homo sapiens* apareció en el planeta.

El año 6000 a. de JC, cuando la agricultura y el pastoreo estaban todavía en su infancia, la población humana total sobre la Tierra se elevaba a diez millones. En la época de

la construcción de la Gran Pirámide, probablemente llegaba a unos cuarenta millones; en tiempos de Homero, a cien millones; en tiempos de Colón, a quinientos millones; en tiempos de Napoleón, a mil millones; en tiempos de Lenin, a dos mil millones. Y ahora, en la década de 1970, la población humana ha llegado a los cuatro mil millones.

Dado que la tecnología tiende a ser acumulativa, la proporción en que la Humanidad ha estado aumentando su dominio sobre el medio ambiente y sobre las formas competitivas de vida, y el promedio de los progresos en su seguridad física, registraron un aumento constante. Esto significa que la disparidad entre el promedio de nacimientos y el de muertes ha favorecido continuamente al primero. Y esto, a su vez, significa que no solamente la población humana está aumentando, sino que lo ha estado haciendo a un promedio continuamente en alza.

En el milenio previo a la agricultura, cuando los seres humanos vivían de la caza y la recogida de alimentos, las provisiones de comida eran exiguas e inseguras, y la Humanidad sólo podía aumentar su número repartiéndose más ampliamente sobre la superficie del planeta. Por entonces, el aumento de la población debía de ser inferior al 0,02 % anual, y seguramente fue preciso un período de más de 35.000 años para que la población humana duplicara su número.

Con el desarrollo de la agricultura y el pastoreo, la seguridad de un suministro de comida más estable y abundante, y otros avances tecnológicos, el promedio de la población empezó a incrementarse, llegando al 0,3 % anual en el año 1700 (duplicado en un período de 230 años) y al 0,5 % anual en el año 1800 (duplicado en un período de 140 años).

La llegada de la Revolución industrial, la mecanización de la agricultura y el rápido avance de la medicina, incrementaron más todavía el promedio de aumento de la población hasta el 1 % anual en 1900 (duplicado en un período de 90 años) y el 2 % anual en la década de 1970 (duplicado en un período de 35 años).

El aumento en ambos, población y promedio de aumento de la población, multiplica el promedio de nuevas bocas a añadir a la Humanidad. Así, en 1800, cuando la población total era de mil millones y el promedio de aumento del 0,5 % anual, eso significaba que cada año había 5 millones más de bocas nuevas que alimentar. En la década de 1970, con la población de cuatro mil millones y el promedio de incremento del 2 % anual, cada año hay ochenta millones más de bocas que alimentar. En ciento setenta años, la población ha aumentado cuatro veces más, pero las cifras adicionales anuales lo hicieron dieciséis veces más.

Aunque estas cifras demuestran el triunfo de la Humanidad sobre el medio ambiente, representan también una terrible amenaza. Una población en declive puede disminuir indefinidamente hasta llegar a la cifra final, cero. Sin embargo, una población en aumento no puede, *en cualesquiera circunstancias,* continuar aumentando de manera indefinida. Llegará el día en que una población en aumento sobrepasará a su provisión de alimento, rebasará los requerimientos de su medio ambiente, excederá de su espacio habitable, y en ese caso, a una velocidad probablemente catastrófica, la situación se invertiría y se produciría una disminución acentuada en la población.

En numerosas especies diferentes se ha observado una situación parecida de exuberancia y declive, especies que se han multiplicado en exceso durante una serie de años en los que el clima y otros aspectos del medio ambiente han favorecido casualmente su desarrollo, para morir después en gran número cuando el inevitable mal año cortó su suministro de alimentos.

Éste es también el inevitable destino de la población con que la Humanidad ha de enfrentarse. La misma victoria que aumenta nuestra población, nos elevará a un nivel en el que no quedará otra alternativa sino la caída, y cuánto más grande sea la altura, tanto más desastrosa la caída.

¿Podremos confiar en que los avances tecnológicos logren eludir el mal en el futuro como lo han logrado en el pasado? No, pues resulta fácil demostrar con absoluta certeza que el promedio actual de crecimiento de la población, *si continúa,* excederá fácilmente, no sólo

de cualquier probable avance tecnológico, sino de cualquier avance tecnológico concebible.

Empecemos con el hecho de que la población de la Tierra es de cuatro mil millones en 1979 (en estos momentos ya es algo más) y que el promedio de población es, y continuará siendo, del 2 % anual. Podríamos decir que una población de cuatro mil millones ya es una cifra demasiado elevada a cargo de la Tierra, y dejemos aparte cualquier incremento. Unos quinientos millones de personas, una octava parte del total (principalmente en Asia y África), sufren de inanición crónica y grave, y centenares de miles mueren de hambre cada año. Además, la urgencia de producir cada año más alimentos para dar de comer a más bocas ha obligado a los seres humanos a cultivar tierras marginales, a utilizar pesticidas y abonos, y a un sistema de riego excesivo, alterando cada vez más decisivamente el equilibrio ecológico de la Tierra. En consecuencia, el suelo está siendo erosionado, avanzan los desiertos, y la producción de alimentos (que ha estado aumentando con la población, y hasta algo más aprisa, en estas últimas décadas desesperadas de explosión demográfica), está acercándose a su límite y pronto puede empezar a declinar. En tal caso, el hambre aumentará con el paso de los años.

Por otra parte, alguien podría decir que la escasez de comida es provocada por el hombre, como resultado de despilfarro, deficiencias, avaricia e injusticia. Con unos gobiernos más humanos y mejores, una explotación del suelo más sensata, modos de vida más económicos y distribución más equitativa de la comida, la Tierra podría mantener una población mucho mayor que la actual sin representar una carga excesiva para su capacidad. La mayor cifra que se ha citado es de cincuenta mil millones, es decir doce veces y media la población actual.

Sin embargo, si persiste el actual incremento del 2 % anual, la población mundial se duplicará cada treinta y cinco años. En el año 2014 será de ocho mil millones; en el 2049, será de dieciséis mil millones, y así sucesivamente. Esto significa que manteniéndose el actual promedio de incremento la población de la Tierra llegará a los cincuenta mil millones aproximadamente el año 2100, dentro de ciento veinte años tan sólo. ¿Qué sucederá entonces? Si al llegar a ese punto, sobrepasamos *entonces* la provisión de alimentos, el derrumbamiento repentino será mucho más catastrófico.

Naturalmente, en ciento veinte años la tecnología puede haber inventado nuevos métodos para alimentar a la Humanidad, exterminando todas las restantes formas de vida animal y cultivando vegetales ciento por ciento comestibles y viviendo de esas plantas sin ninguna competencia. De esa manera, la Tierra podría llegar a mantener 1,2 billones, o sea trescientas veces la población actual. Sin embargo, manteniéndose el actual promedio de incremento, se llegará a una población de 1,2 billones en el año 2280, dentro de trescientos años. ¿Qué sucederá entonces?

En realidad, tiene sentido discutir el que una cifra determinada de población pueda mantenerse por medio de ese o aquel avance científico. Una progresión geométrica (exactamente lo que representa el aumento de la población) puede exceder de cualquier número. Veamos los razonamientos.

Supongamos que el peso medio de un ser humano (mujeres y niños incluidos) es de 45 kilogramos (100 libras). En tal caso, la masa total de Humanidad que vive en la Tierra pesaría ciento ochenta mil millones de kilogramos. Este peso se duplicaría cada 35 años a medida que la población se duplicara. A este promedio de aumento, si llevamos la cuestión hasta su extremo, dentro de 1.800 años la masa total de la Humanidad igualaría la masa total de la Tierra. (Este lapso de tiempo no es largo. Únicamente han transcurrido 1.800 años desde la época del emperador Marco Aurelio.)

Nadie puede suponer que la población de la Tierra pueda multiplicarse hasta el extremo de que el planeta sea una bola sólida de carne y sangre humanas. De hecho, esto significa que, *no importa lo que podamos hacer,* es imposible continuar nuestro actual incremento demográfico en la Tierra por más de 1.800 años.

Pero, ¿por qué limitarnos a la Tierra? Mucho antes de que hayan transcurrido esos 1.800 años, la Humanidad habrá llegado a otros mundos y construido colonias espaciales

artificiales, los cuales podrían dar alojamiento al exceso de población. Podría pensarse que al invadir el universo, la masa total de carne y sangre humanas podría exceder ciertamente algún día de la masa de la Tierra; sin embargo, ni incluso eso puede oponerse al poder de una progresión geométrica.

El Sol es 330.000 veces más pesado que la Tierra, y la Galaxia es ciento cincuenta mil millones de veces tan pesada como el Sol. En todo el universo puede haber hasta cien mil millones de galaxias. Si suponemos que la galaxia media es tan masiva como la nuestra (una sobreestimación casi cierta, pero sin importancia), en ese caso la masa total de universo es 5.000.000.000.000.000.000.000.000.000 de veces la de la Tierra. Y, no obstante, si la población humana actual continúa incrementándose constantemente a razón de un 2 % anual, la masa total de carne y sangre humanas igualará la masa del universo en poco más de cinco mil años. Este período es aproximadamente el tiempo transcurrido desde la invención de la escritura.

En otras palabras, durante los primeros 5.000 años de historia escrita, hemos llegado a un momento en que de algún modo atiborramos la superficie de un pequeño planeta. Durante los próximos 5.000 años, al promedio actual de incremento no tan sólo habremos acabado con aquel planeta sino con todo el universo.

Por tanto, se deduce que si hemos de evitar adelantarnos y rebasar a nuestros suministros de alimento, nuestros recursos y nuestro espacio, hemos de detener el actual promedio de crecimiento de la población en menos de 5.000 años, aunque nos imaginemos consiguiendo avances tecnológicos hasta los más extraordinarios límites de la fantasía. Y si somos realísticamente honrados en esta cuestión, sabemos que tan sólo queda una posibilidad clara de evitar una catástrofe de quinta clase, empezando a reducir el promedio de crecimiento de la población ¡*inmediatamente!*

Pero, ¿cómo? En realidad, es un problema, pues en toda la historia de la vida no ha habido especie alguna que intentara controlar voluntariamente su número (1). Ni la especie humana lo ha intentado. Hasta este momento ha procreado libremente aumentando su población hasta el límite posible.

Para poder controlar ahora la población, es preciso reducir de alguna manera la diferencia entre el promedio de nacimientos y el promedio de muertes, y el creciente predominio del primero sobre el segundo ha de desaparecer. Para llegar a una población estacionaria, o incluso a una población temporalmente decreciente, sólo nos quedan dos alternativas: o bien el promedio de muertes ha de incrementarse hasta que iguale o exceda al de nacimientos, o el promedio de nacimientos ha de disminuir hasta que iguale o sea inferior al promedio de muertes (2).

Aumentar el promedio de las muertes es la alternativa más fácil. Entre todas las especies de las plantas y de los animales, a través de toda la historia de la vida, un aumento repentino y dramático en el promedio de fallecimientos ha sido la respuesta normal a un aumento demográfico que ha llevado la especie a un nivel que a la larga se ha vuelto insoportable. El promedio de muertes se incrementa principalmente como resultado del hambre. El debilitamiento que precede al hambre facilita que los individuos de la especie sean destruidos por enfermedad y también por los depredadores.

En el caso de los seres humanos, durante la pasada historia, podría decirse lo mismo, y si miramos hacia el futuro podemos estar seguros de que nuestra población quedará controlada (si falla todo lo demás) por el hambre, la enfermedad y la violencia, en cualquier caso seguido de la muerte. Esta idea no es nueva, lo que queda demostrado por el hecho de que las cuatro calamidades: hambre, enfermedad, violencia y muerte, están representadas por los cuatro jinetes del Apocalipsis que afligen a la Humanidad en sus días postreros. Sin embargo, es evidente que tratar de solucionar el problema incrementando el promedio de las muertes, es simplemente experimentar una catástrofe de quinta clase en la que la Humanidad se derrumba. Si en la disputa por los últimos residuos de comida y recursos estalla una guerra termonuclear, como medida desesperada, la Humanidad puede, como consecuencia, desaparecer de la Tierra,

en una catástrofe de cuarta clase.

Nos queda, pues, como único camino para evitar la catástrofe, un descenso en el promedio de nacimientos. ¿Cómo conseguirlo?

Controlar los nacimientos, por infanticidio o incluso por aborto, repugna a muchas personas. Aunque no se haga de ello una cuestión de la «santidad de la vida» (principio que en toda la historia de la Humanidad sólo ha sido una frase), cabe preguntar por qué una mujer debería sufrir la incomodidad de un embarazo sólo para que el resultado fuese destruido, o, por qué debería sufrir la incomodidad de un aborto. ¿Por qué no evitar, simple y directamente, la concepción?

Un sistema a toda prueba para evitar la concepción está en evitar las relaciones sexuales, pero existen todas las razones para creer que este método nunca gozará de popularidad para controlar la explosión demográfica. Es necesario, en cambio, separar sexo y concepción, haciendo posible el primero sin la última como consecuencia, excepto en el caso en que se desee el hijo, y cuando sea preciso para mantener un nivel tolerable de población.

Existen diversos métodos contraceptivos quirúrgicos, mecánicos y químicos, todos los cuales son bien conocidos y sólo necesitan ser utilizados de forma inteligente. De hecho, hay diversas prácticas conocidas de actividad sexual, que proporcionan plena satisfacción sin causar perjuicio a los practicantes ni a nadie más, y que no presentan ni el más leve riesgo de concebir.

Por tanto, no existen dificultades prácticas para lograr una disminución en el promedio de nacimientos, sólo dificultades sociales y psicológicas. La sociedad ha estado acostumbrada durante tanto tiempo a una cifra excesiva de niños (a causa de la elevada mortalidad infantil), que en muchos lugares la economía, y en todos los lugares la psicología individual, dependen de ellos. Muchos grupos conservadores han luchado duramente contra los contraceptivos, considerándolos inmorales, y, tradicionalmente, todavía se sigue contemplando como una bendición que haya muchos niños en una familia.

Por tanto, ¿qué sucederá? Con una posible salvación, ¿continuará la Humanidad deslizándose por la pendiente hasta la catástrofe simplemente por seguir la costumbre de un modo de pensar anticuado? Exactamente, esto es lo que podría suceder. Y, sin embargo, cada vez hay más personas (como yo), que hemos estado hablando y escribiendo sobre el peligro del crecimiento demográfico, y sobre la visible destrucción del medio ambiente provocado por el aumento de la población y por las crecientes demandas, por parte de la Humanidad en aumento, de más comida, más energía y más artículos de consumo. También los gobernantes, cada vez más, empiezan a reconocer que *ningún* problema podrá resolverse mientras no quede resuelto el problema de la población, y que *todas* las causas son causas perdidas mientras la población continúe incrementándose. Como consecuencia, existe una tendencia creciente, de uno u otro modo, para disminuir el número de nacimientos. Ésta es una señal esperanzadora, extraordinaria, pues la presión social es la que más puede contribuir a la reducción del promedio de nacimientos.

Aparentemente, a medida que avanzaba la década de los setenta, el promedio mundial de nacimientos *estaba* declinando, y el promedio de población descendió del 2 al 1,8 %. Como es lógico pensar, no es suficiente todavía, pues en el momento actual *cualquier* incremento producirá con el tiempo una catástrofe en caso de continuar. Sin embargo, la disminución es un signo esperanzador.

Podría ocurrir que, aunque la población continúe aumentando, lo haga a un promedio inferior, llegando a un máximo que no exceda de los ocho mil millones, y que a partir de entonces comience a descender. El proceso ya causará bastantes perjuicios, pero es posible que la civilización sepa afrontar la tempestad y que la Humanidad, aunque abatida, consiga sobrevivir, reparar la Tierra y su equilibrio ecológico, y reconstruir una cultura más sensata y más práctica, basada en una población mantenida en una cifra tolerable.

Educación

Por consiguiente, podemos imaginar una época, por ejemplo, dentro de cien años, en la que el problema de la población esté resuelto, en la que la energía sea barata y abundante y en la que la Humanidad recicle sus recursos y viva en paz y serenamente. Con toda seguridad, todos los problemas estarán resueltos entonces, y todas las catástrofes evitadas.

No ha de ser así por fuerza. Cada solución lleva intrínsecamente sus propios remolques a remolque de su victoria. Un mundo en el que se controle la población significa un mundo en el que el promedio de nacimientos es tan bajo como el de defunciones, y puesto que gracias a la medicina moderna el promedio de muertes es ahora mucho más bajo de lo que lo fue en el pasado, el número de nacimientos ha de disminuir en la misma proporción. Por tanto, sobre una base de porcentaje, la cifra de recién nacidos y de niños será inferior que en el pasado, y mucho mayor, en cambio, el número de gente adulta y madura. Ciertamente, si imaginamos los avances de la tecnología médica, el término medio de vida puede seguir aumentando. Y, por consiguiente, el promedio de defunciones, con lo cual el promedio de nacimientos debería seguir reduciéndose.

En este caso, el tipo de sociedad que se vislumbra si llegamos a conseguir una población estable, es una sociedad de edad media avanzada. Seremos testigos del «encanecimiento de la Tierra», por expresarlo de algún modo. Actualmente podemos ver que esto está sucediendo en esas zonas de la Tierra en donde el promedio de nacimientos ha disminuido y se ha prolongado, en cambio, el término medio de vida; en Estados Unidos, por ejemplo.

En el año 1900, cuando el promedio de vida en los Estados Unidos, se calculaba solamente en unos cuarenta años, había 3.100.000 personas con más de sesenta y cinco años, de una población total de 77 millones, es decir, el 4 % aproximadamente. En 1940, había 9 millones de personas de más de sesenta y cinco años de una población total de 134 millones, o sea un 6,7 %. En 1970, había 20,2 millones de personas de más de sesenta y cinco años de una población total de 208 millones, o sea cerca de un 10 °/o. Hacia el año 2000 la cifra puede llegar a los 29 millones de personas de más de sesenta y cinco años de una población estimada en 240 millones, o sea el 12 %. Dentro de cien años, aunque la población será algo más del triple, la cifra de personas de más de sesenta y cinco años se habrá incrementado cerca de diez veces.

El efecto sobre la economía y la política americanas es evidente. Las personas de edad avanzada representan una facción poderosa y creciente del electorado, y las instituciones políticas y financieras de la nación han de preocuparse cada vez más de las pensiones, la seguridad social, el seguro médico, y así sucesivamente.

Sin duda, todas las personas desean una vida larga y todos desean que se les cuide en la vejez, pero, desde el punto de vista de la civilización en general, podría presentarse un problema. Si como resultado de la estabilización de la población desarrollamos una humanidad vieja, ¿no podría suceder que el espíritu, la aventura y la imaginación de la juventud se tambaleasen y quedasen ahogados bajo el peso del rígido tradicionalismo y la edad avanzada? ¿Sucedería, quizá, que el cuidado de las innovaciones y audacia estuviera a cargo de tan pocos que el peso muerto de la vejez destruyera la civilización? ¿No podría la civilización, después de haber rehuido la muerte catastrófica provocada por una explosión demográfica, encontrarse con la muerte plañidera de una población anciana?

Aunque, ¿están necesariamente vinculadas la estulticia y la vejez? Nuestra sociedad es la primera que lo considera natural, puesto que ha sido nuestra sociedad la primera en la que la ancianidad se ha convertido en sinónimo de inutilidad. En las sociedades de cultura media, en donde no se llevaban registros, los ancianos eran los depositarios y guardianes de las tradiciones, los libros vivientes de las referencias, las bibliotecas y los oráculos. Sin embargo, hoy día no necesitamos de la memoria de los viejos; disponemos de medios mucho mejores para conservar la historia y tradiciones del pasado. Como consecuencia, los ancianos han

perdido su misión y la conservación de nuestro respeto.

También, en las sociedades en donde la tecnología se transformaba lentamente, era el viejo artesano, rico en experiencia y en conocimientos, la persona en quien debía confiarse para una ojeada hábil, un juicio astuto y un buen trabajo. Hoy día, la tecnología cambia muy rápidamente, y es al graduado universitario imberbe a quien buscamos, esperando que con él lleguen las últimas técnicas. Para conceder un puesto al joven técnico, retiramos forzosamente al anciano, y, de nuevo, la edad pierde su función. Y a medida que aumenta el número de personas de edad avanzada sin tareas que cumplir, parece que esas personas se conviertan en un peso muerto. ¿Ha de ser forzosamente así?

Por término medio, las personas viven hoy día el doble de lo que vivían nuestros antepasados hace un siglo y medio. Sin embargo, una prolongación de la vida no es el único cambio. Por término medio, la gente goza actualmente de mejor salud y fortaleza, cualquiera que sea su edad, comparándola con la edad y condiciones de sus antepasados.

No se trata tan sólo de que la gente muriese joven en épocas anteriores a la medicina moderna. Muchos de ellos eran visiblemente ancianos a los treinta años. Vivir hasta esa edad, o más, significaba tener que soportar repetidos ataques de enfermedades infecciosas que ahora podemos prevenir o curar fácilmente. Significaba vivir con dietas deficientes, cuantitativamente y cualitativamente. No existían medios para combatir enfermedades dentales o infecciones crónicas, o para mejorar los efectos del mal funcionamiento hormonal, o deficiencias vitamínicas; y docenas de otras dolencias que no había medios de contrarrestar. Para empeorar las cosas, muchas personas se agotaban con trabajos duros que hoy día las máquinas realizan para nosotros (1).

Como resultado, las personas maduras de hoy son vigorosas y jóvenes comparándolas con las de la misma edad de los días medievales de la caballería, e incluso, para los Estados Unidos, la época de los pioneros.

Es lógico suponer que esta tendencia hacia un mayor vigor en las edades avanzadas continuará en el futuro si la civilización sobrevive y la tecnología médica progresa. El simple concepto de «juventud» y «edad» puede quedar algo confuso en la población estable del futuro. En este caso, si la diferencia física entre la juventud y la vejez disminuye, ¿qué sucederá con las diferencias mentales? ¿Qué puede hacerse respecto al inmovilismo de la vejez, a su incapacidad para aceptar cambios creativos?

Y al propio tiempo, ¿en qué proporción este estancamiento de la edad avanzada es debido a las tradiciones de una sociedad centrada en la juventud? A pesar de la ampliación gradual del período escolar, la educación continúa asociándose con juventud, y sigue teniendo una especie de fecha límite. Persiste todavía una convicción firme en que llega un momento en que la educación *se ha completado* y que este momento no está muy avanzado en el período de vida de una persona.

En cierto aspecto, esto confiere una aureola de oprobio a la educación. La mayoría de los jóvenes que se irritan bajo la disciplina de una escuela obligatoria y sufren las incomodidades de enseñanzas incompetentes, se dan cuenta de que los adultos no necesitan ir a la escuela. Para un joven rebelde, uno de los premios de la madurez debe de ser, seguramente, el de liberarse de las cadenas educacionales. Para ellos, el ideal de superar la niñez es lograr una posición en la que nunca tengan que estar estudiando siempre.

La naturaleza actual de la educación hace que inevitablemente aparezca ante la juventud como un castigo, y, por consiguiente, el fracaso es un premio. El joven que abandona prematuramente los estudios para ocupar un puesto de trabajo, ante la vista de sus mayores parece haberse graduado en madurez. Por otra parte, el adulto que intenta aprender algo nuevo, es contemplado a menudo con cierto aire de burla, como si se descubriera de alguna manera en su segunda niñez.

Al poner a un mismo nivel educación y juventud, y hacer socialmente difícil el estudio para las personas de edad media una vez terminado su período formal de aprendizaje, estamos seguros de que la mayoría de las personas sólo se quedan con la información y las actitudes

adquiridas durante los años de adolescencia, recordadas vagamente, y después nos lamentaremos de la estulticia de la edad avanzada.

Esta deficiencia de la educación con respecto al individuo puede quedar disminuida con respecto a la sociedad en general. Es posible que la sociedad se vea obligada a no seguir aprendiendo más. ¿Sucederá algún día que el progreso del conocimiento humano se vea obligado a detenerse simplemente por su propio éxito superlativo? Hemos aprendido tanto que se está haciendo difícil encontrar los materiales específicos que necesitamos entre la gran masa del conjunto, materiales específicos que pueden ser cruciales para proseguir los avances. Y si la Humanidad no puede seguir avanzando en el camino del progreso tecnológico y científico, ¿podrá seguir manteniendo nuestra civilización? ¿Será éste otro de los peligros de la victoria?

Podríamos resumir el peligro diciendo que la suma total del conocimiento humano carece de un índice y que no existe un método eficaz de recuperar la información. ¿Cómo podríamos corregir esto si no es recurriendo a una memoria superior a la humana que sirviera de índice y a un sistema de recuperación más rápido que el humano para utilizar ese índice?

Resumiendo, necesitamos un ordenador, y durante cuarenta años hemos estado desarrollando a un paso vertiginoso ordenadores mejores, más rápidos, más compactos y más caprichosos. Esta tendencia debería continuar si la civilización sigue intacta, y en ese caso es inevitable la memorización del conocimiento. A medida que el tiempo transcurra se memorizará más información en el microfilme, y, por tanto, cada vez se dispondrá de más información a través del ordenador.

Habrá una tendencia a centralizar información, de modo que para satisfacerse una demanda sobre un tema determinado se podrá recurrir a todas las memorias de las bibliotecas de una región, de una nación, o, incluso, del mundo. Finalmente, existirá el equivalente a una Biblioteca Global Memorizada, en la que se almacenará todo el saber disponible de la Humanidad, de cuyo total, a petición, se podrá obtener cualquier información sobre cualquier tema determinado.

El sistema para el funcionamiento de esa biblioteca no es ningún misterio: la técnica ya está en marcha. Disponemos ya de satélites de comunicación que conectan dos puntos del Globo en cuestión de fracciones de segundo.

Los satélites de comunicación actuales dependen de ondas de radio para su interconexión, y, por tanto, el número de canales de que pueden disponer es muy limitado. Los satélites del futuro utilizarán rayos láser para su interconexión, aprovechando la luz visible y la radiación ultravioleta. (El primer láser fue ideado recientemente, el año 1960, por el físico alemán Theodoro Harold Maiman (1927-).) Las longitudes de onda de la luz visible y la radiación ultravioleta son millones de veces más cortas que las ondas de radio, de modo que la conductividad de los rayos láser es varios millones de veces superior a las de las ondas de radio.

Por tanto, podrá llegar un momento en que cada ser humano dispusiera de su propio canal de televisión, que podría conectar a un emisor de ordenador que sería su enlace con el conocimiento mundial acumulado. El equivalente a un aparato de televisión traería la información solicitada a una pantalla, o la reproduciría en película o sobre papel, cotizaciones de Bolsa, noticias del día, oportunidades de compra, partes o la totalidad de un periódico, revista o libro.

La Biblioteca Global Memorizada sería esencial para los escolares y para la investigación, pero esto representaría una fracción mínima de su uso. Representaría una auténtica revolución en la enseñanza, y, por vez primera, nos ofrecería un plan de enseñanza abierto realmente a todas las personas de cualquier edad.

A fin de cuentas, la gente *necesita* aprender. En cada cráneo hay un cerebro de 1.480 gramos de peso que exige constante ocupación para evitar la penosa enfermedad del aburrimiento. A falta de algo mejor, o más estimulante, se puede llenar con las visiones sin objeto de los programas de televisión de baja calidad, o los sonidos sin objeto de discos de

baja calidad.

Incluso este material pobre es preferible a las escuelas tal como ahora están constituidas, en donde cada estudiante individual recibe la enseñanza masiva de determinados temas estereotipados, dentro de ciertos períodos de tiempo determinados, sin ninguna consideración por lo que el individuo está interesado en aprender ni por la rapidez o la lentitud con que puede absorber la información.

Sin embargo, ¿qué sucedería si en el hogar de una persona hubiese un mecanismo que le proporcionara información sobre lo que esa persona quisiera saber exactamente: cómo coleccionar sellos, cómo reparar vallas, cómo cocer pan, cómo hacer el amor, detalles sobre las vidas privadas de los reyes de Inglaterra, las reglas del fútbol, la historia de la diligencia? ¿Qué sucedería si toda esta información se proporcionara con suma paciencia, repitiéndolo infinitamente si era necesario, y en el momento y el lugar que el estudiante deseara?

¿Y si habiendo absorbido un poco de un tema, el estudiante quisiera saber *algo* más avanzado, o un poco al margen? ¿Y si algún aspecto de la información descubriera un súbito interés por otra cuestión llevando el estudiante a una dirección totalmente nueva?

¿Por qué no? Seguramente muchas personas, y cada vez más, adoptarían este camino natural de satisfacer su curiosidad y su deseo de saber. Y cada persona, a medida que recibía instrucción de sus propios intereses, empezaría a contribuir y colaborar. La persona que tuviera un pensamiento nuevo o una observación cualquiera en cualquier campo, informaría de ello, y si no duplicaba otro pensamiento ya existente en la biblioteca, quedaría retenido para su confirmación, y posiblemente, se añadiría, al final, a la reserva común. Cada persona sería al mismo tiempo maestro y alumno.

Disponiendo de la última biblioteca y de la última máquina educadora, ¿perdería el maestro-estudiante del todo su deseo de relación humana? ¿Se convertiría la civilización en una gran comunidad de seres aislados, destruyéndose de esa manera?

¿Por qué habría de suceder? No existe máquina educadora que pueda remplazar el contacto humano en todos los aspectos. En el deporte, en la oratoria pública, en las artes dramáticas, en la exploración, en el baile, en el amor, ninguna aplicación a los libros, por grande que fuese, podría mejorarla. La gente continuaría relacionándose, mucho más profunda y placenteramente por su conocimiento de lo que estaban haciendo.

En realidad, podemos estar seguros de que cada ser humano posee un instinto misionero en relación con el tema, cualquiera que sea, por el que siente auténtico interés. El entusiasta del ajedrez intenta que los demás se interesen también en ese juego, y lo mismo puede decirse, igualmente, de los aficionados a la pesca, a la danza, a la química, a la historia, a las antigüedades o a cualquier otra cosa. La persona que experimenta con la máquina educadora y encuentra fascinante tejer, o la historia de las costumbres, o las monedas romanas, probablemente efectuará un esfuerzo decidido para encontrar otras personas que compartan su mismo interés.

Este método de educación no respetaría la edad. Cualquiera podría utilizarlo, a cualquier edad, empezando nuevos intereses a los sesenta, quizás, olvidando los viejos intereses. El ejercicio constante de la curiosidad y el pensamiento mantendría el cerebro tan flexible como un ejercicio mantendría en forma el cuerpo. Por consiguiente, la estupidez no tendría por qué acompañar necesariamente a la edad avanzada. Por lo menos, no tan pronto ni con tantas probabilidades.

El resultado podría ser que a pesar de la vejez sin precedentes de la población humana en general y la insólita escasa representación de la juventud, el mundo de la población estable llegase a un rápido avance tecnológico y a una intensidad inigualable de intercambio intelectual.

No obstante, ese tipo de nueva educación libre, ¿no acarrearía algunos peligros? Si todas las personas podían escoger libremente lo que deseaban aprender, ¿no seguirían todos el camino de la facilidad? ¿Quién aprendería las cosas pesadas y monótonas necesarias para gobernar el mundo?

En el mundo de los ordenadores del futuro, son precisamente las cosas monótonas las que no entrarían en el campo de los seres humanos. Las máquinas automáticas se harían cargo de ellos. Para los seres humanos quedarían los aspectos creativos de la mente que resultarían agradables para aquéllos que tuvieran que tratarlos.

Siempre habrá personas que encontrarán diversión en las matemáticas y la ciencia, en la política y los negocios, en la investigación y el desarrollo. Ellos ayudarían a «hacer marchar» el mundo, porque ése sería igualmente su deseo y su gusto, como lo sería para otros el trazar jardines con rocalla o escribir recetas de cocina para sibaritas.

¿Se enriquecerían los gobernantes y oprimirían a los gobernados? Esa posibilidad siempre existe, pero se puede confiar en que, en un mundo adecuadamente ordenado, la posibilidad de corrupción, por lo menos, sería mucho menor, y un mundo gobernado con sensatez aportaría a toda la población en general más beneficios que los que la corrupción más el desorden pudiera aportar a unos cuantos.

Surge el cuadro de una utopía. Sería un mundo en que las rivalidades nacionales desaparecerían, y el peligro de la guerra quedaría desterrado. Sería un mundo en que el racismo, el sexismo y la vejez perderían su importancia en una sociedad cooperativista, de comunicaciones, automatización y computerización avanzadas. Sería un mundo de abundante energía y tecnología floreciente.

No obstante, incluso la utopía puede ofrecer sus peligros. En un mundo de comodidades y diversiones, ¿no podría la fibra íntima de la Humanidad relajarse, reblandecerse y degenerar? El *Homo sapiens* se ha desarrollado y se ha hecho fuerte en un ambiente de riesgos y peligros continuos. Cuando la Tierra se convierta en una tarde de domingo en los suburbios, ¿no podría la civilización, habiendo evitado el desastre de la explosión demográfica, y la muerte plañidera de una humanidad vieja, caer presa de una muerte silenciosa por puro aburrimiento?

Quizá sería así si únicamente existiese la Tierra, pero es casi seguro que cuando se llegara a ese grado de suburbanismo, la Tierra no sería el único lugar del hábitat humano. Ayudados por las ventajas de los rápidos avances tecnológicos hechos realidad gracias a los conocimientos memorizados en los ordenadores, el espacio podría ser explorado, explotado y colonizado a una velocidad mucho mayor de lo que ahora parece posible, y serán las colonias espaciales las que fijarán los nuevos límites de la Humanidad.

Allá arriba, en las nuevas fronteras, el infinito mayor y más próximo que jamás hayamos podido ver, abundarán el riesgo y el peligro. Por mucho que la Tierra se convierta en un remanso de paz, de limitado estímulo, siempre existirán los enormes retos para poner a prueba a la Humanidad y mantenerla fuerte, si no en la propia Tierra, en la perpetua frontera del espacio.

Tecnología

He estado refiriéndome a la tecnología como el arquitecto principal de un mundo, incluso utópico, digno de vida y con un promedio bajo de nacimientos. De hecho, a lo largo de todo este libro me he referido a la tecnología como el agente principal para evitar la catástrofe. Sin embargo, no puede negarse el hecho de que la tecnología puede también ser, precisamente, la causa de la catástrofe. Una guerra termonuclear es el producto directo de una tecnología avanzada, y es también la tecnología avanzada la que ahora está consumiendo nuestros recursos y nos está ahogando en la contaminación.

Aunque consigamos resolver todos los problemas con los que hoy nos enfrentamos, en parte usando de sensatez humana y en parte por medio de la propia tecnología, no existe ninguna garantía de que en el futuro no nos veamos amenazados por el continuo éxito de la tecnología.

Por ejemplo, supongamos que se desarrolle una energía abundante, sin contaminación

química o de radiación, por la fusión nuclear o por medio directamente de la energía solar. Esta abundante energía, ¿no podría producir intrínsecamente otros tipos de contaminación?

Según la primera ley de la termodinámica, la energía no desaparece, simplemente se transforma. Dos de estas formas son la luz y el sonido. Por ejemplo, desde la década de 1870, cuando Edison inventó la luz eléctrica, la parte oscura de la Tierra se ha hecho más brillante cada década.

Semejante «contaminación ligera» es un problema relativamente menor (excepto para los astrónomos, quienes, en cualquier caso, antes de que hayan transcurrido muchos años habrán pasado el escenario de sus actividades al espacio, pero, ¿y en cuanto al sonido? La vibración de las partes movibles, asociada con la producción o utilización de energía, es «ruido», y, ciertamente, el mundo industrial es un lugar ruidoso. El ruido del tráfico de automóviles, de los aviones que despegan, de los trenes, de las sirenas, de los vehículos para la nieve en los lugares invernales, de las canoas de motor en los lagos en otros tiempos plácidos, de los tocadiscos, la radio y la televisión, nos somete a un tormento sonoro continuo. ¿Empeorará esta situación haciendo insoportable el mundo?

No es probable. Muchos de los orígenes del ruido y la luz molestos, están estrictamente bajo el control humano, y si la tecnología los produce, también puede mejorar sus efectos. Como un ejemplo, los automóviles eléctricos serían mucho más silenciosos que los vehículos con motor de gasolina.

Siempre hemos estado acompañados por la luz y el ruido, incluso en tiempos preindustriales. ¿Qué diríamos de las formas de energía características de nuestro tiempo? ¿Y de la contaminación de las microondas?

Las microondas, que son ondas de radio con una longitud de onda comparativamente corta, se utilizaron bastante al principio, en la Segunda Guerra Mundial, y con relación al radar. A partir de aquel momento, no tan sólo se han estado utilizando cada vez más al multiplicarse las instalaciones de radar, sino, además, en los hornos de cocción rápida con microondas, en los que las microondas penetran en el alimento y lo convierten totalmente en calor, en vez de los sistemas ordinarios de cocción en los que el alimento se calienta desde el exterior con una penetración lenta.

Pero las microondas también penetran en nosotros y son absorbidas en nuestro interior. La creciente incidencia de microondas desviadas en la proximidad de mecanismos que las utilizan, ¿podría, con el tiempo, tener algún efecto nocivo sobre la constitución molecular del organismo?

El peligro de las microondas ha sido exagerado por algunos alarmistas, pero esto no significa que no exista ningún peligro. En el futuro, si el suministro de energía de la Tierra procede de las centrales eléctricas solares instaladas en el espacio, esa energía será enviada desde las instalaciones eléctricas espaciales a la superficie de la Tierra, en forma de microondas. Será necesario actuar con precaución para asegurar que no se produzca un desastre. Probablemente no ocurriría, pero no hay que darlo por seguro.

Por último, toda la energía, de la clase que sea, se convierte en calor. Éste es el punto final de la energía. En ausencia de tecnología humana, la Tierra recibe el calor del Sol. El Sol es, en mucho, la fuente principal de calor de la Tierra, pero se reciben también cantidades menores del planetario interior y de la radiactividad natural de la corteza.

Mientras la Humanidad se limite a utilizar la energía del Sol, del planetario interior, y la radiactividad natural en una proporción no superior a la cantidad disponible de modo natural, no se producirá el efecto total de la formación de calor del punto final. En otras palabras, podemos utilizar el calor del Sol, la fuerza hidroeléctrica, las mareas, las diferencias de temperatura del océano, las fuerzas termales, los vientos, etc., sin producir ningún calor adicional, más allá y por encima del que se hubiera producido sin nuestra interferencia.

Sin embargo, si quemamos leña, producimos calor en una proporción más rápida de la que se hubiera desarrollado por su lenta putrefacción. Si quemamos carbón y petróleo, producimos calor que normalmente no hubiera existido. Si horadamos profundamente el suelo

para hacer brotar el agua caliente, provocaríamos una filtración de calor interno a la superficie en una proporción superior a la normal.

En todos estos casos, el calor quedaría añadido al medio ambiente en una proporción superior a la que tendría en ausencia de la tecnología humana, y este calor adicional tendría que ser irradiado desde la superficie terrestre durante la noche. Para incrementar la proporción de radiación calorífica, se elevaría inmediatamente la temperatura media de la Tierra, por encima del punto que alcanzaría en ausencia de la tecnología humana, produciendo de esta manera una «contaminación térmica».

Hasta la fecha, toda la energía añadida que hemos producido, principalmente por medio del encendido de combustión fósil, no ha causado un efecto notable en la temperatura media de la Tierra. La Humanidad produce 6,6 millones de megavatios de calor al año, que han de compararse a los 120.000 millones de megavatios que la Tierra recibe cada año de las fuentes naturales. En otras palabras, sólo añadimos 1/18.000 del total. Sin embargo, nuestro consumo está concentrado en algunas zonas relativamente restringidas, y el calor de las grandes ciudades produce variaciones en su clima, haciéndolo muy diferente de lo que sería si esas ciudades fuesen zonas continuas de vegetación.

¿Cómo será el futuro? La fisión y la fusión nucleares añadirán calor al medio ambiente, y su potencial les permitirá hacerlo en una proporción mucho más elevada que la de nuestro encendido de combustible fósil. Al utilizar energía solar en la superficie de la Tierra, *no* se añade calor al planeta, pero sí se añade al recogerlo en el espacio y radiarlo hacia la Tierra.

Con el actual porcentaje de aumento de la población y del consumo *per capita,* la energía humana podría incrementarse dieciséis veces más durante los próximos cincuenta años, representando entonces una cantidad igual al 1/1.000 de la producción total de calor. En este caso, comenzaría a estar en condiciones de provocar un aumento en la temperatura de la Tierra, con un efecto desastroso, al fundir el hielo de los casquetes polares, o mucho peor, iniciando un efecto desbocado de invernadero.

Aunque la población se mantenga firmemente baja, la energía que necesitamos para hacer funcionar una tecnología, cada vez más moderna y avanzada, continuamente añade calor a la Tierra, y con el tiempo esto podría resultar peligroso. Para evitar los efectos perjudiciales de la contaminación térmica, sería necesario que los seres humanos fijasen estrictamente la cantidad máxima a que se podía llegar en el consumo de la energía, no sólo de la Tierra, sino de cualquier mundo, real o artificial, en el que la Humanidad habitara y desarrollara una tecnología. Alternativamente podrían crearse nuevos métodos para mejorar la cantidad de radiación de calor en determinadas temperaturas tolerables.

La tecnología puede ser también peligrosa en ciertos aspectos que no tienen nada que ver con la energía. Por ejemplo, estamos ya aumentando gradualmente nuestra habilidad para interferir con el equipo genético de la vida, incluyendo la vida de los seres humanos. Esto no es totalmente nuevo.

Desde que los seres humanos han estado criando rebaños y cultivando vegetales, deliberadamente los han acoplado o cruzado para mejorar las características útiles para el hombre. Como resultado, las plantas cultivadas y los animales domésticos, en muchos casos han cambiado por completo del organismo ancestral del que al principio se sirvieron los seres humanos primitivos. Los caballos son mayores y más rápidos, las vacas producen más leche, las ovejas más lana, las gallinas más huevos. Los perros y las palomas han sido criados en docenas de variedades, para utilidad o adorno.

La ciencia moderna ha hecho trampas con las características hereditarias para lograr objetivos mejores más rápidamente.

En el capítulo XI nos hemos referido a nuestra interpretación del principio de la genética y la herencia, y a nuestros descubrimientos en cuanto al papel primordial desempeñado por el ADN.

A principios de la década de los setenta, se descubrieron técnicas que permitían que las

moléculas individuales ADN se escindieran en lugares específicos por la acción de las enzimas. Más tarde podían ser combinadas de nuevo. Por ello, una molécula de DNA separada de una célula u organismo podía combinarse de nuevo con otra molécula dividida de otra célula u organismo, aunque ambos organismos fuesen de especie muy diferente. Por medio de esas técnicas de «recombinación-ADN» podía formarse un nuevo gen capaz de crear nuevas características químicas. Cualquier organismo podía convertirse deliberadamente en imitante, haciéndole pasar por una especie de evolución dirigida.

Buena parte del trabajo de recombinación-ADN ha sido realizado en bacterias, en principio con un intento de descubrir los detalles químicos íntimos del proceso de la herencia genética. Sin embargo, existen obvios efectos al margen de tipo práctico.

La diabetes es una enfermedad corriente. En la diabetes hay un trastorno en el mecanismo que fabrica insulina, la hormona que regula la proporción de glucosa en las células. Probablemente, esto es el resultado de un gen defectuoso. La insulina puede ser suministrada desde el exterior y se obtiene del páncreas de los animales sacrificados. Cada animal sólo tiene un páncreas, y esto significa que la insulina tiene unos límites de suministro y que la cantidad disponible no puede incrementarse con facilidad. Además, la insulina que puede obtenerse del ganado, de las ovejas o de los cerdos, no es precisamente idéntica a la insulina del ser humano.

Sin embargo, supongamos que el gen encargado de la fabricación de insulina se obtenga de células humanas y se añada al equipo genético bacteriano por las técnicas de recombinación-ADN. En ese caso, no sólo fabricaría insulina, sino que, además, sería insulina humana, transmitiendo esta característica a sus descendientes. Se pueden lograr otros prodigios parecidos. Podríamos diseñar (por expresarlo así), microorganismos capaces de fabricar otras hormonas además de la insulina; o hacerles crear ciertos factores de la sangre, o antibióticos o vacunas. Podríamos diseñar bacterias especialmente activas en combinar el nitrógeno de la atmósfera creando compuestos que dieran fertilidad al suelo; o que pudieran llevar a cabo la fotosíntesis; o que convirtieran la paja en azúcar, y los desechos del petróleo en grasas y proteínas; o que destruyeran los plásticos; o que concentraran los restos de metales útiles de los desechos o del agua del mar.

Y, sin embargo, ¿qué sucedería, si, inadvertidamente, se creara alguna bacteria productora de enfermedad? Podría originar una enfermedad contra la que el organismo humano nunca hubiese desarrollado inmunidad por cuanto nunca había estado presente en la Naturaleza. Semejante enfermedad podría ser simplemente molesta, o debilitante, pero también podría ser una enfermedad mortal, mucho peor que la muerte negra para la destrucción de la Humanidad.

Las posibilidades de que una catástrofe semejante ocurra son pequeñas, pero el simple pensamiento de que pudiera suceder hizo que, en 1974, un grupo de científicos que trabajaban en ese campo tomase precauciones especiales para impedir que unos microorganismos que habían convertido deliberadamente en mutantes pudieran diseminarse por el medio ambiente.

Durante algún tiempo, se creyó que la tecnología había creado una pesadilla mucho peor todavía que la de la guerra nuclear, y surgieron presiones para poner fin a cualquier utilización de nuestros crecientes conocimientos sobre la mecánica de la genética *(genetic engineering).*

Los temores en este aspecto parecen exagerados, y en conjunto, los beneficios que brinda la investigación de la genética son tan grandes, y por otra parte son tan escasas las posibilidades de un desastre para evitar el cual se toman muchas precauciones, que sería una tragedia renunciar a la investigación cediendo a un desproporcionado temor.

Sin embargo, probablemente representará un descanso para mucha personas, si, con el tiempo, esos experimentos genéticos considerados como un riesgo (al igual que otros trabajos industriales o científicos en otros campos que implican riesgos), se lleven a cabo en laboratorios en órbita alrededor de la Tierra. El efecto aislante de miles de kilómetros de vacío entre los centros de población y el posible daño, reduciría enormemente los riesgos.

Si la ciencia de la genética, aplicada a las bacterias, parece presagiar una posible catástrofe, ¿qué sucedería con la ciencia de la genética aplicada directamente a los seres humanos? Esta perspectiva ha estado despertando temores incluso antes de que se desarrollasen las actuales técnicas genéticas. Durante más de un siglo, la medicina ha estado trabajando para salvar vidas que de otro modo se hubieran perdido, y al hacerlo, ha hecho descender el promedio de eliminación de genes de baja calidad.

¿Es esto sensato? ¿Estamos permitiendo, quizá, que aumenten los genes de baja calidad que servirán para degenerar la especie humana considerada como un todo, hasta que los seres humanos, normales o superiores, ya no puedan soportar el creciente peso de los genes defectuosos de la especie en general?

Quizá sea así, pero resulta difícil encontrar una justificación para dejar que los seres humanos sufran o mueran cuando pueden recibir fácilmente ayuda y salvación. Aun cuando las personas más insensibles hablarían probablemente en favor de una política de «mano dura», sus argumentos se debilitarían si ellos mismos, o personas próximas a ellos, se encontrasen afectados por esta cuestión.

Por consiguiente, la verdadera solución podría estribar en los avances tecnológicos. El tratamiento médico de los defectos congénitos sólo pone remedio. Con la insulina, el diabético recibe una hormona de la que carece, pero sus genes siguen siendo igualmente defectuosos, y así los transmite a su descendencia (1). Quizá llegará un momento en que las técnicas de la ciencia genética se utilizarán para alterar y corregir directamente los genes defectuosos.

Algunas personas temen que el descenso del promedio de nacimientos pueda llevar a una degeneración de la especie. Su argumento está basado en que el descenso de nacimientos tendrá mayor importancia en el sector de la sociedad más culta y de mayor responsabilidad, de modo que el nivel de la cifra de los individuos superiores quedará muy por debajo de la cifra de los individuos inferiores.

Este temor se acentúa ante las afirmaciones de algunos psicólogos respecto a que la inteligencia se hereda. Los datos actuales parecen demostrar que los que gozan de una situación económica superior son también más inteligentes que los que están por debajo. Estos psicólogos afirman, especialmente, que las pruebas realizadas sobre el coeficiente de inteligencia demuestran firmemente la superioridad de la inteligencia de la raza blanca sobre la negra.

La implicación es que cualquier intento de corregir lo que parece ser una injusticia social, está condenado al fracaso, puesto que el grado de estupidez de los oprimidos se mide directamente por el grado de opresión que soportan, y que, por tanto, merecen. Otro argumento es que la limitación de los nacimientos debería ser más duramente practicado entre los pobres y oprimidos, ya que ellos, de todos modos, no tienen categoría.

El psicólogo inglés Cyril Burt (1883-1971), santo patrón de esos psicólogos mencionados anteriormente, presentó datos para demostrar que las clases superiores británicas eran más inteligentes que las clases inferiores, que los gentiles británicos eran más inteligentes que los judíos británicos, que los británicos eran más inteligentes que las británicas, y que los británicos, en general, eran más inteligentes que los irlandeses, en general. Ahora parece ser que sus informes fueron inventados por él mismo, para demostrar unos resultados que encajaran con sus prejuicios.

Aun cuando todas esas observaciones fuesen honestas y legales, existen muchas dudas sobre los resultados del coeficiente de inteligencia que tan sólo mide la semejanza del sujeto sometido a la prueba con el aparato examinador, y, naturalmente, el aparato se cataloga a sí mismo como la cima de la inteligencia.

A través de la Historia observamos que las clases inferiores han excedido en descendencia a las superiores; los campesinos, a la clase media; los oprimidos, a los opresores. El resultado es que casi todas las personas del más alto nivel de nuestra cultura tuvieron antepasados campesinos o proceden de clases oprimidas que en su día fueron

firmemente considerados, por parte de las clases superiores de aquella época, como seres subhumanos.

Por consiguiente, es razonable suponer que, ya que el promedio de nacimientos ha de disminuir, si es que deseamos sobrevivir, no debemos preocuparnos si la disminución no se equilibra perfectamente entre todos los grupos y clases de la población. La Humanidad sobrevivirá al choque y, probablemente, no será menos inteligente por este motivo.

Volviendo de nuevo a nuestra época, existe un nuevo motivo de preocupación respecto a la posible degeneración de la Humanidad derivada de la nueva aptitud de la ciencia para aislar o producir drogas sintéticas o naturales narcóticas, estimulantes o alucinógenas. Va en aumento la cifra de individuos normales que se sienten atraídos hacia las drogas, de las que pasan a depender. ¿Aumentará esta tendencia hasta que toda la Humanidad llegue a un punto de degeneración sin remedio?

Al parecer, las drogas se utilizan principalmente como un método de escapar del aburrimiento y la desesperación. Cualquier sociedad sensata ha de tener como objetivo la reducción del aburrimiento y la desesperación, y si tiene éxito al respecto, puede también quedar reducido el peligro de las drogas. Un fracaso en reducir el aburrimiento y la desesperación podría igualmente provocar una catástrofe con independencia de las drogas.

Finalmente, las técnicas de la ciencia genética pueden servir para encaminar la evolución, la mutación y los cambios de los seres humanos, eliminando algunos de los peligros temidos. Podría utilizarse para mejorar la inteligencia, eliminar genes defectuosos y aumentar ciertas aptitudes.

¿No sería posible, sin embargo, que las buenas intenciones quedasen desviadas? Por ejemplo, una de las primeras victorias de la ciencia genética podría ser la capacidad de controlar el sexo de los hijos. ¿Podría esta capacidad alterar radicalmente la sociedad humana? Ya que es una actitud humana estereotipada, el desear hijos varones, ¿no elegirían los padres del mundo un hijo en vez de una hija en mayoría aplastante?

Circunstancia plausible, cuyo primer resultado sería un mundo en el que el número de varones excedería en mucho al de mujeres. Esto significaría que el promedio de nacimientos disminuiría en el acto, dado que la proporción de nacimientos depende principalmente del número de mujeres en edad de procrear, sin importar tanto la cifra de los varones. Éste sería un aspecto favorable en un mundo superpoblado, en especial por el hecho de que el prejuicio en favor de un varón parece predominar en los países más superpoblados.

Por otra parte, las mujeres se convertirían en premios codiciados a medida que se acentuara la competición para ganarlas, y los padres precavidos optarían por tener hijas en la próxima generación, considerándolas como una astuta inversión. No se tardaría mucho tiempo en que todos se darían cuenta de que la relación uno a uno es la más adecuada.

¿Y qué diremos de los «bebés de los tubos de ensayo»? En 1978, los titulares de los periódicos hicieron creer que había nacido un niño de este tipo, pero se trataba solamente de la fecundación en un tubo de ensayo, una técnica que se ha venido utilizando desde hace mucho tiempo para los animales domésticos. El óvulo fecundado se implantaba en la matriz de una mujer donde el feto se desarrollaba.

Esto nos permite imaginar un futuro en el que las mujeres profesionales, dedicadas por entero a su trabajo, contribuyeran con células de óvulo para ser fecundadas e implantadas en madres sustitutas. Cuando el bebé hubiese nacido, se pagaría a la madre sustituta y se recogería el recién nacido.

¿Se haría popular este sistema? Tengamos en cuenta que un bebé no es solamente una cuestión de genes. Buena parte de su desarrollo durante el período fetal depende del ambiente materno; de la dieta de la futura madre, de la eficacia de su placenta, de los detalles bioquímicos de sus células y su corriente sanguínea. La madre biológica podría tener la impresión de que el recién nacido que recibe, salido del útero de otra mujer, no es realmente su hijo, y cuando el niño mostrara defectos o insuficiencias (reales o imaginarios), es posible que la madre biológica no los soportara paciente y amorosamente, creyendo que la culpa es de

la madre anfitriona.

Aunque la fecundación en tubos de ensayo puede existir como una opción más, no sería extraño que no alcanzara mucha popularidad. Claro está que podríamos recorrer todo el camino y llegar a prescindir totalmente del útero humano. Cuando desarrollemos una placenta artificial (no será tarea fácil), las células de los óvulos humanos fecundados en el laboratorio podrían seguir desarrollándose durante nueve meses con las técnicas de laboratorio, haciendo circular por ellas las mezclas nutritivas necesarias para alimentar al embrión y eliminar los residuos. Esto sería una auténtico feto de tubo de ensayo.

¿Degeneraría el aparato reproductivo femenino al dejar de funcionar? ¿Pasaría la especie humana a depender exclusivamente de la placenta artificial y quedaría amenazada con la extinción si fallase la tecnología? Probablemente, no. Los cambios en la evolución no se producen con tanta rapidez. Aunque utilizásemos laboratorios reproductores durante cien generaciones, los úteros femeninos seguirían funcionando todavía. Además, los bebés de tubo de ensayo no se convertirían probablemente en el único medio para nacer, aunque podrían ser una posible alternativa. Muchas mujeres preferirían seguramente el proceso natural de gestación y parto, aunque sólo sea para tener la certeza de que el hijo es realmente suyo. Asimismo, pueden sentir que sus hijos les son más propios por haberlos nutrido con su propia sangre y haberse desarrollado en su claustro.

Por otra parte, los niños de laboratorio tienen algunas ventajas. Los embriones en desarrollo estarían constantemente sometidos a una observación minuciosa. Se corregirían las faltas menores. Los embriones con deficiencias graves serían rechazados. Algunas mujeres quizá preferirían la seguridad de tener hijos sanos.

Llegará un momento en que se podrán identificar todos los genes de los cromosomas humanos y determinar su naturaleza. Se localizarían los genes con defectos graves y se calcularían las posibilidades de que nacieran seres defectuosos de la unión de dos personas según los genes característicos de cada uno de ellos.

Todo el mundo, bien informado de la composición de sus genes, buscaría como pareja a aquella otra persona cuyos genes fuesen más adecuados a los propios, o se casarían por amor, pero buscarían ayuda exterior para tener hijos combinando los genes mejores. Con estos métodos, y con una modificación directa de los genes, la evolución humana podría ser guiada.

¿Existiría el peligro de que surgieran intentos racistas para combinar genes productores exclusivos de individuos altos, rubios y de ojos azules? O, por el contrario, ¿se intentaría crear un gran número de gente simplona y boba, paciente e indiferente, que se encargara del trabajo duro y sirviera en los Ejércitos mundiales?

Ambos pensamientos son demasiado simples. ¿Hemos de suponer que, en todas las partes del mundo, habrá laboratorios equipados eficazmente para desarrollar semejantes técnicas genéticas? Y, ¿por qué los asiáticos, por ejemplo, tendrían interés en producir auténticos tipos nórdicos? En cuanto a una raza de subhumanos, en un mundo sin guerras y con ordenadores automáticos, ¿cuál sería su trabajo?

¿Y qué diremos del *cloning* (1)? ¿No podríamos prescindir totalmente del método de reproducción corriente extrayendo una célula somática del cuerpo de una persona, hombre o mujer, sustituyendo el núcleo de aquella célula e implantando un núcleo extraído de la célula de huevo? Se podría estimular la división de esa célula de huevo haciéndola desarrollar para crear un descendiente, una réplica exacta del individuo objeto de replicación.

Pero, ¿por qué proceder así? Después de todo, la reproducción corriente es un método bastante eficaz de producir niños y tiene la ventaja de mezclar genes creando nuevas combinaciones.

¿Es que existen personas que desearían que precisamente sus propios genes fuesen conservados para darles nueva vida? Quizá, pero la réplica no podría ser auténticamente exacta. Podría tener la misma apariencia, pero no se habría desarrollado en el vientre de la madre del individuo replicado, y después de nacer tendría un ambiente social muy diferente al que tuvo el ser replicado. No sería tampoco un sistema que asegurase la continuidad de los

Einstein y los Beethoven del futuro. La réplica de un matemático podría desarrollar sus aptitudes a un nivel inferior en su propio ambiente social. La réplica de un músico podría, influida por sus propias circunstancias, aburrirse con la música, y así sucesivamente.

En resumen, muchos de los temores provocados por la manipulación del material genético, y que vaticinan catástrofes, son generalmente el resultado de una manera de pensar simplista. Por otra parte, suelen pasar por alto, por ejemplo, algunas de las ventajas de la replicación.

Utilizando técnicas de manipulación genética que todavía no se han desarrollado, podría lograrse que una célula replicada se reprodujera irregularmente poniendo en funcionamiento un corazón y quedando el resto del cuerpo al margen. O podría crearse un hígado, o un riñón, etc. Órganos que podrían utilizarse para remplazar órganos del cuerpo lesionados o enfermos en el cuerpo del donante original de la célula que había sido replicada. El cuerpo aceptará un nuevo órgano que ha sido creado con células de su propia composición genética.

También, la replicación podría utilizarse para salvar especies de animales en peligro. Pero, ¿será la evolución, conducida o no conducida, el final de la Humanidad? Podría serlo, si definimos a la Humanidad como el *Homo sapiens*. Pero, ¿por qué hemos de hacerlo? Si los seres humanos pueblan el espacio en distintas colonias artificiales que con el tiempo se separarán para adentrarse en el Universo, cada una por su cuenta, seguramente cada una de ellas tendrá una evolución algo distinta, y dentro de un millón de años pueden existir docenas, o centenares, o una miríada de especies distintas, todas descendientes del hombre, pero todas diferentes.

Y tanto mejor, puesto que la variedad y la diversidad sólo pueden fortalecer la familia humana de las especies. Es de suponer que la inteligencia se mantendrá, o, probablemente, se incrementará, dado que una especie de inteligencia en disminución no será capaz de mantener la colonia y se extirpará como inútil. Y si la inteligencia se conserva y aumenta, ¿qué importa si cambian los detalles de la apariencia externa y las funciones fisiológicas internas?

Ordenadores

¿Es posible que mientras la Humanidad evolucione, y probablemente mejore, otras especies lo hagan también? ¿Podrían, quizás, esas otras especies ponerse a nuestro nivel y suplantarnos?

En cierto aspecto, nosotros nos pusimos al nivel del delfín, y le sobrepasamos a pesar de su cerebro de tamaño humano que ya poseía millones de años antes que los seres humanos. Sin embargo, no hubo competencia entre los cetáceos habitantes marinos y los primates habitantes terrestres, y sólo los seres humanos han sido capaces de desarrollar una tecnología.

No está en nuestro modo de ser admitir la competencia: o, si lo hacemos, sería sobre la base de permitir que otra especie tan inteligente como la nuestra se nos uniera como aliada en la batalla contra la catástrofe. No obstante, no existe la posibilidad de que ello ocurra, por lo menos durante millones de años, a no ser que estimulásemos la evolución de alguna especie encaminándola hacia la inteligencia por la manipulación de técnicas genéticas.

Sin embargo, existe otro tipo de inteligencia en la Tierra, que no tiene nada que ver con la vida orgánica y es una invención de la Humanidad. Se trata del ordenador o computadora.

Los ordenadores capaces de resolver problemas matemáticos complicados, con más rapidez y con mayor seguridad que los seres humanos (después que han sido adecuadamente programados) ya fueron mencionados en 1822. En ese año, el matemático inglés Charles Babbage (1792-1871) comenzó a construir una computadora. Empleó en ello algunos años, y fracasó, no porque su teoría fuese mala, sino porque sólo disponía de piezas mecánicas para su construcción que sencillamente no eran las adecuadas para la tarea.

Lo que se necesitaba era la electrónica; la manipulación de partículas subatómicas antes que el manejo de toscas piezas mecánicas. El primer gran ordenador electrónico fue construido en la Universidad de Pensilvania, durante la Segunda Guerra Mundial, por John Presper Eckert, Jr. (1919-) y John Willliam Machly (1907-) siguiendo un sistema ideado, en principio, por el ingeniero eléctrico norteamericano Vannevar Bush (1890-1974). Este ordenador electrónico, ENIAC («Electronic Numerical Integrater and Computer») costó tres millones de dólares, contenía 19.000 tubos al vacío, pesaba 30 toneladas, ocupaba un espacio básico de 140 metros cuadrados y empleaba tanta energía como una locomotora. Dejó de funcionar en 1955 y fue desmantelado en 1957, totalmente anticuado.

Los tubos al vacío, desvencijados, inestables y consumidores de energía, fueron remplazados por transistores sumamente estables, mucho más pequeños, mucho más seguros y que consumían menor energía. A medida que pasaron los años, los mecanismos fueron reduciéndose, ganando, no obstante, en seguridad. Con el tiempo, unas plaquitas de silicona, de un cuarto de pulgada cuadrada, tan finas como el papel, finamente impregnadas de otras sustancias en algunos lugares, fueron empleadas en pequeños grupos compactos y complicados, equipados con finos cables de aluminio y unidos para formar microordenadores.

Al finalizar la década de los sesenta, por trescientos dólares cualquier persona podía adquirir, pidiéndolo por correo o en casi todas las tiendas de la vecindad, un ordenador que no consume una energía mayor que la que gasta una bombilla corriente, que es lo bastante pequeño para manejarlo con facilidad, y que puede realizar una tarea muy superior, y veinte veces más rápida, y millares de veces más segura, que el ENIAC original.

A medida que los ordenadores se han hecho más pequeños, más accesibles y más baratos, han empezado a invadir los hogares. La década de los ochenta seguramente los verá convertidos en parte integrante de la vida diaria como ocurrió en la década de los cincuenta con la televisión. De hecho, en este mismo capítulo, anteriormente, me he referido a los ordenadores en desarrollo como las máquinas de la enseñanza del futuro. ¿Hasta dónde llegarán?

Hasta ahora, el ordenador ha sido un mecanismo para resolver problemas, estrictamente sujeto a su programación y capaz de hacer sólo las operaciones sencillas, pero con una rapidez y paciencia extraordinarias. Sin embargo, a medida que los ordenadores se autocorrigen y modifican sus programas, está empezando a notarse una especie de inteligencia rudimentaria.

A medida que los ordenadores y su «inteligencia artificial» asuman una mayor parte de las tareas rutinarias mentales del mundo, y después, quizá también, de las tareas mentales no tan rutinarias ¿podrán las mentes de los seres humanos deteriorarse por falta de uso? ¿Pasaremos a depender de las máquinas, y así, cuando no tengamos la inteligencia que permita utilizarlas adecuadamente, se hundirá nuestra especie degenerada y con ella la civilización?

Con este mismo problema e iguales temores, debió de enfrentarse la Humanidad en épocas pasadas de su historia. Por ejemplo, es fácil imaginar el desprecio de los constructores primitivos cuando empezó a usarse el equivalente de la yarda de medir. ¿Degeneraría para siempre la ojeada hábil y el juicio práctico del arquitecto experimentado cuando cualquier necio podía decidir qué longitud de madera o de piedra encajaría en algún lugar, simplemente con la lectura de unos números en una vara?

Y seguramente los antiguos vates debieron horrorizarse ante la invención de la escritura, un código de marcas que eliminaba el recurrir necesariamente a la memoria. Un muchacho de diez años que hubiese aprendido a leer podía recitar *La Ilíada,* aunque nunca la hubiese oído mencionar, simplemente traduciendo esas marcas. ¡Qué degeneración para la mente!

Sin embargo, ni el criterio ni la memoria quedaron destruidas por la ayuda inanimada que recibían. Es verdad que hoy día no es fácil encontrar a nadie que posea una memoria tan buena como para recitar largos poemas épicos. Pero, ¿quién lo necesita? Si nuestros talentos

han dejado de dar muestras de proezas que ya nadie necesita demostrar, ¿no superan las ganancias ventajosamente a las pérdidas? ¿Podrían el Taj Mahal o el Golden Gate Bridge haberse construido a ojo? ¿Cuántas personas conocerían las obras de Shakespeare o las novelas de Tolstoi si hubieran tenido que depender de alguien que las conociera de memoria y estuviese dispuesto a recitarlas, suponiendo, además, que hubiesen podido ser creadas sin la ayuda de la escritura?

Cuando la Revolución industrial aportó la fuerza del vapor y más tarde la electricidad, grandes colaboradores de las tareas físicas de la Humanidad, ¿se hicieron fláccidos los músculos humanos como resultado de esa ayuda? Las proezas en los campos de deporte y en los gimnasios demuestran que no es así. Hasta la persona que trabaja en una oficina de la ciudad puede mantenerse en forma corriendo, jugando al tenis, haciendo gimnasia, compensando voluntariamente el ejercicio que ya no le era imprescindible realizar por necesidades apremiantes del trabajo.

Con los ordenadores podría ocurrir lo mismo. Ellos se encargarían de los trabajos rutinarios, cálculos aburridos, archivo, localización, ficheros, etc., dejando libres nuestras mentes para tareas más creativas, podríamos construir Taj Mahales en lugar de chozas de barro.

Naturalmente, con esto se afirma que la función de los ordenadores será siempre rutinaria y repetitiva. Pero, ¿y si los ordenadores continuaran desarrollándose infinitamente y nos siguieran hasta el último baluarte de nuestras mentes? ¿Qué sucedería si también los ordenadores pudieran construir Taj Mahales, escribir sinfonías, y concebir nuevas y grandes generalizaciones científicas? ¿Qué ocurriría si aprendieran a imitar todas las habilidades mentales de los seres humanos? De hecho, ¿qué sucedería si los ordenadores pudieran ser utilizados para actuar como cerebros de robots, la analogía artificial de los seres humanos, haciendo todo lo que los hombres pueden hacer, pero construidos con materiales más fuertes y duraderos, más capaces de soportar los embates del medio ambiente? ¿No quedaría anticuada la Humanidad? ¿No podrían «imponerse» los ordenadores? ¿No podría producirse una catástrofe de cuarta clase (no simplemente de quinta) que elimina a los seres humanos dejando detrás de ellos a los herederos que ellos mismos han creado?

Si consideramos esta posibilidad, cabe también hacer una pregunta cínica: ¿por qué no? La historia de la evolución de la vida es la historia de la lenta alteración de las especies, o de la sustitución corporal de una especie por otra, enteramente distinta, cuando ese cambio o sustitución encaja mejor en un determinado ambiente. Esa historia larga y cambiante, finalmente alcanzó al *Homo sapiens,* hace unos pocos centenares de años, pero, ¿por qué había de ser ése el paso final?

Ahora que nosotros estamos aquí, ¿por qué hemos de creer que la obra ha terminado? De hecho, si estuviera en nuestra mano retroceder y contemplar el camino complicado de la evolución, un mundo detrás de otro, nos podría parecer que muy lentamente, por medio de pruebas y errores, aciertos y fracasos, la vida fue evolucionando hasta que finalmente surgió una especie con suficiente inteligencia para hacerse cargo y dirigir el proceso de la evolución. Podríamos pensar que únicamente entonces, cuando la evolución empezó a progresar en realidad como una inteligencia artificial, mucho mejor que lo que se había conocido hasta aquel momento, empezó verdaderamente a ser.

En ese caso la sustitución de la Humanidad por ordenadores avanzados, sería un fenómeno natural que objetivamente tendría que aplaudirse, como nosotros aplaudimos la sustitución de los reptiles por los mamíferos, y sólo podríamos oponernos por motivaciones de amor propio, y por razonamientos esencialmente frívolos e inadecuados. De hecho, si todavía quisiéramos ser más cínicos, ¿no podríamos afirmar que la sustitución de la Humanidad no sólo no es algo malo, sino que sería positivamente una cosa buena?

En los últimos capítulos he supuesto que la Humanidad adoptará medidas sanas para desterrar la guerra, limitar la población y establecer un orden social humano, pero, ¿lo hará? A uno le gustaría pensar que sí, pero la historia de la Humanidad no es exactamente animadora

al respecto. ¿Que sucederá si los seres humanos no dejan de sospechar eternamente, y no detienen la violencia de unos contra otros? ¿Qué sucederá si no ponen límite al crecimiento demográfico? ¿Qué sucederá si no se encuentra un medio para que la sociedad esté regida por el sentido común? En ese caso, ¿cómo podremos evitar la destrucción de la civilización y hasta de la propia Humanidad?

Quizá la única salvación está precisamente en la sustitución de una especie que está casi al borde del abismo, por otra que quizá lo haga mejor. Desde ese punto de vista, nuestro temor no habría de ser que la Humanidad fuese remplazada por los ordenadores, sino más bien que la Humanidad no pueda progresar suficientemente y con la rapidez necesaria, en cuanto a ordenadores, para poder preparar a unos herederos dispuestos a tomar posesión cuando llegue el momento de la destrucción inevitable de la especie humana.

Sin embargo, quizá los seres humanos resolverán los problemas actuales y durante el próximo siglo crearán otra sociedad más sensata, basada en la paz, la colaboración y en un avance tecnológico más cuerdo. Avance que podría hacerse con la ayuda de los ordenadores. A pesar del éxito humano, ¿podría ser suplantada la Humanidad por las cosas que ella misma ha creado? ¿No representaría esto una auténtica catástrofe?

Cabe aquí preguntarse qué es lo que queremos decir al referirnos a una inteligencia superior.

Es demasiado simplista comparar cualidades como si estuviéramos midiendo con una regla. Estamos acostumbrados a comparaciones unidimensionales y comprendemos perfectamente lo que queremos decir al explicar que una longitud es superior a otra, una masa mayor que otra, o una duración más larga que otra. Y nos acostumbramos a suponer que todas las cosas pueden ser comparadas con tan poca sutileza.

Por ejemplo, una cebra puede llegar a un punto distante con mayor rapidez que una abeja, si ambas salen del mismo lugar a la misma hora. Desde ese punto de vista, parece justificarse que la cebra es mucho más rápida que la abeja. Sin embargo, una abeja es mucho más pequeña que una cebra, y, a diferencia de la cebra, es capaz de volar. Ambas diferencias son importantes al referirse a esa «mayor rapidez».

Una abeja puede salir volando de una zanja de la que la cebra no puede salir; puede pasar a través de los barrotes de una jaula que tiene prisionera a la cebra. ¿Cuál de ellas es ahora más veloz? Si A sobrepasa B en una cualidad, B puede sobrepasar a A en otra. A medida que las condiciones cambian, una cualidad o la otra asumen la mayor importancia.

Un ser humano dentro de un avión vuela más rápidamente que un pájaro, pero no puede volar tan lentamente como un pájaro, y algunas veces la lentitud puede ser necesaria para sobrevivir. Un ser humano en un helicóptero puede volar con tanta lentitud como un pájaro, pero no tan silenciosamente como éste, y algunas veces el silencio es necesario para sobrevivir. En resumen, la supervivencia requiere un complejo de características y ninguna especie queda sustituida por otra solamente por una característica, aunque se trate de la inteligencia.

A menudo lo comprobamos en los asuntos humanos. En el momento de una crisis, no es necesariamente la persona con el más alto coeficiente de inteligencia la ganadora. Puede ser la persona que posee mayor decisión, o mayor fuerza, o mayor capacidad de resistencia, o mayor riqueza, o mayor influencia. La inteligencia es importante, sin duda alguna, pero no lo es todo.

Además, la inteligencia no es una cualidad que se defina sencillamente; se presenta en diversas variedades. El profesor con una gran experiencia y súper erudito, que parece un niño en todas las otras cuestiones que no entran en su especialidad, es una figura estereotipada del folklore moderno. No nos sorprendería en lo más mínimo el espectáculo de un astuto hombre de negocios, con suficiente inteligencia para dirigir una organización de varios miles de millones de dólares con mano firme y segura, y, sin embargo, incapaz de aprender a hablar correctamente. ¿Cómo podemos, por tanto, comparar la inteligencia humana y la inteligencia del ordenador, y qué queremos decir cuando nos referimos a inteligencia «superior»?

En este momento, el ordenador podría llevar a cabo trucos mentales que serían imposibles de realizar para un ser humano; sin embargo, eso no nos impulsa a decir que un ordenador es más inteligente que nosotros. De hecho, no estamos dispuestos a admitir que un ordenador posea inteligencia alguna. Recordemos también, que el desarrollo de la inteligencia de los seres humanos, y de los ordenadores, recorre diferentes caminos: es conducida, y así ha sido siempre, por mecanismos distintos.

El cerebro humano evolucionó a través de aciertos y fracasos, mutaciones casuales, utilizando cambios químicos sutiles, y con un impulso movido por la selección natural y por la necesidad de sobrevivir en un mundo determinado con sus cualidades y peligros. El cerebro del ordenador evoluciona por medio de un diseño deliberado fruto de una cuidadosa reflexión humana, utilizando cambios eléctricos sutiles y con un impulso movido por el avance tecnológico y la necesidad de servir determinados requerimientos humanos.

Sería muy extraño, después de haber tomado dos caminos tan diferentes, que los cerebros y los ordenadores acabaran siendo tan similares que uno de ellos pudiera ser calificado de inequívocamente superior en inteligencia al otro.

Es mucho más probable que, aunque los dos son igualmente inteligentes, considerados en conjunto, las propiedades de su inteligencia fuesen tan distintas en ambos que no hubiese comparación posible. Los ordenadores serían más adecuados para ciertas actividades, y lo mismo ocurriría con el cerebro humano. Lo que sería especialmente cierto si se utilizara deliberadamente la manipulación de la ciencia genética para mejorar el cerebro humano, precisamente en aquellos aspectos en los que el ordenador es débil. Sería conveniente mantener a ambos, ordenadores y cerebro humano, especializados en diferentes direcciones, puesto que una duplicación de sus facultades sería superflua y los convertiría a ambos en innecesarios.

En consecuencia, no hay por qué hablar de sustitución; lo que sí podríamos contemplar sería una simbiosis o complementación; el cerebro y el ordenador trabajando juntos, cada uno de ellos suministrando al otro lo que le falta, formando una pareja-inteligencia muy superior a la inteligencia de cada uno de ellos por separado; una colaboración que abriría nuevos horizontes y haría posible alcanzar nuevas alturas. De hecho, la unión de cerebros, el humano y el creado por el ser humano, podría servir como puerta abierta por la que el ser humano podría emerger de su infancia aislada entrando en su madurez combinada.

EPÍLOGO

Repasemos ahora el largo viaje por el inmenso erial de las posibles catástrofes que pueden ocurrimos:

Podríamos separar en dos grupos las catástrofes que he descrito: 1) las que son probables, o incluso inevitables, como la conversión del Sol en gigante rojo, y 2) las que son extremadamente improbables, como la invasión de una porción enorme de antimateria que chocara precisamente con la Tierra.

No es sensato preocuparse por las catástrofes del segundo grupo. No es probable que nos equivoquemos al suponer que nunca ocurrirán, y nos concentremos, en cambio, en las del primer grupo. Este grupo puede subdividirse en dos más: *a)* las que amenazan en un próximo futuro, como guerra y hambre, y, *b)* las que probablemente no se presenten hasta haber transcurrido un tiempo que oscila desde decenas de millares hasta miles de millones de años a partir de ahora, como el calentamiento del Sol o la congelación de una era glacial.

Tampoco es necesario preocuparse de las catástrofes del segundo subgrupo, puesto que, si no solucionamos primero las del primer subgrupo, el resto es académico.

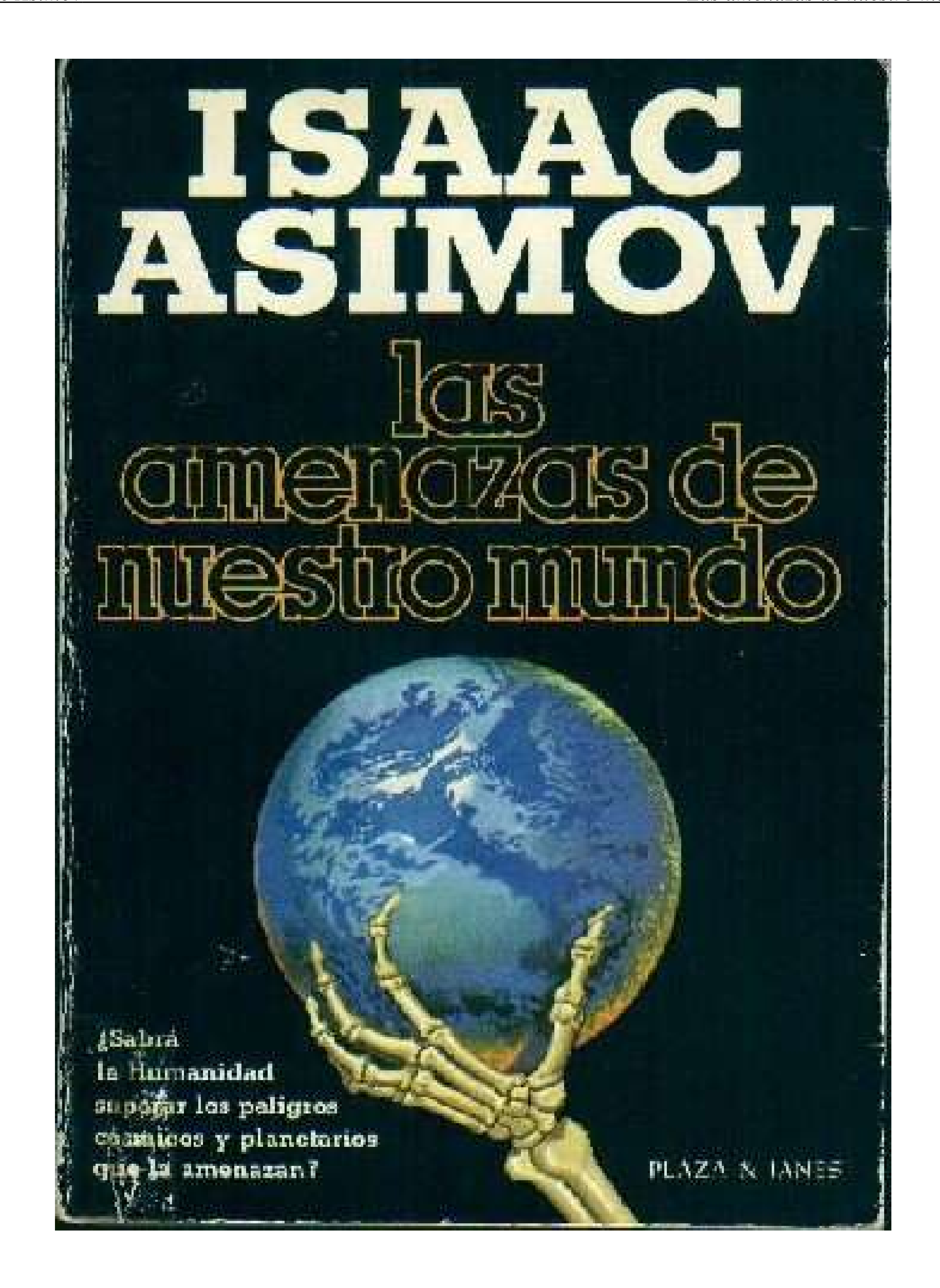
Considerando el primer subgrupo, las catástrofes que son muy probables, y que amenazan para un futuro cercano, podemos dividirlo también en dos nuevos subgrupos: I, las que pueden evitarse, y II las que no pueden evitarse.

Creo que no existen catástrofes del segundo subgrupo; no existe *ninguna* catástrofe, de las que nos amenazan *que no pueda* ser evitada; no hay nada que nos amenace con destrucción inminente dejándonos imposibilitados de hacer algo. Si nos comportamos sensata y humanamente, si nos concentramos fríamente en los problemas que afectan a toda la Humanidad, prescindiendo de sentimentalismos en cuestiones que ya pertenecen a otro siglo del pasado, como seguridad nacional y orgullo local; si reconocemos que no es el vecino el enemigo, sino la miseria, la ignorancia, y la fría indiferencia hacia las leyes naturales, entonces podremos solucionar todos los problemas que ahora tenemos. Deliberadamente podemos elegir no tener ninguna catástrofe.

Y si conseguimos eso durante el próximo siglo, podremos esparcirnos por el espacio y perder nuestra vulnerabilidad. No dependeremos nunca más exclusivamente de un planeta o una estrella. Y entonces, la Humanidad, o sus descendientes inteligentes y sus aliados, podrán seguir viviendo, más allá del final de la Tierra, más allá del final del Sol, más allá (¿quién sabe?) incluso del final del Universo.

Éste es, debería ser, nuestro objetivo.

¡Quizá lo alcancemos!


ISAAC
ASIMOV
las
amenazas de
nuestro mundo
¿Sabrá
la Humanidad
superar los peligros
cósmicos y planetarios
que la amenazan?
PLAZA & JANES